

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Теплоенергетичний факультет

Кафедра теоретичної і промислової теплотехніки

«На правах рукопису»
УДК 621.365.32

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Г.Б.Варламов
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 144 «Теплоенергетика»,
спеціалізації «Промислова та муніципальна теплоенергетика і енергозбереження»
на тему: «Температурні та енергетичні показники печей графітування за
технологією Кастнера»

Виконав: студент II курсу, групи ТП – 61 м

Іваненко Дмитро Олегович
(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н. Боженко М.Ф.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультанти: з мат. моделювання к.т.н. Кутра Д.С.
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

з охорони праці к.т.н., доцент Каштанов С.Ф.
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет Теплоенергетичний

Кафедра Теоретичної і промислової теплотехніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»,

Спеціалізація «Промислова та муніципальна теплоенергетика і енергозбереження»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Г.Б.Варламов
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2018 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Іваненку Дмитру Олеговичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Температурні та енергетичні показники печей графітування за технологією Кастнера»,

науковий керівник дисертації Боженко Михайло Федорович, доцент, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Строк подання студентом дисертації 16.05.2018 р.

3. Об'єкт дослідження Печі Кастнера для графітування вуглеграфітових виробів.

4. Предмет дослідження Температурно-теплові умови роботи печей

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Аналіз літературних джерел з підвищення ефективності печей графітації вуглеграфітових виробів. Температурно-теплові режими печей графітування за технологією Кастнера;

- конструктивні характеристики печей Кастнера;

- аналіз результатів експериментальних досліджень температурно-теплових режимів;

- енергетичні баланси печей.

Експрес-методика визначення середньомасової температури печі графітування.

Математичне моделювання температурних полів заготовок в процесі графітації. Розробка стартап-проекту. Охорона праці.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу Конструкція печі графітації. Схема встановлення термопар по перерізу печі. Результати експериментальних даних температурних полів. Таблиця розрахунку енергетичного балансу. Експрес-методика визначення температури. Результати математичного моделювання температурних полів. Таблиці розрахунків показників процесу.

7. Орієнтовний перелік публікацій Наукова стаття у фаховому журналі. Тези доповідей на науково-технічних конференціях.

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
мат. моделювання	Кутра Д.С., доцент		
охорона праці	Каштанов С.Ф., доцент		

9. Дата видачі завдання 19.03.2018 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Літературний огляд	26.03.18 р.	
2	Температурно-теплові режими графітування печей Кастнера		
2.1	Конструктивні характеристики.	02.04.18 р.	
2.2	Методика експериментальних досліджень	10.04.18 р.	
2.3	Аналіз експериментальних даних	14.04.18 р.	
2.4	Енергетичні баланси	18.04.18 р.	
3	Експрес-методика розрахунку температур	23.04.18 р.	
4	Математичне моделювання температурних полів	03.05.18 р.	
5	Стартап-проект	07.05.18 р.	
6	Охорона праці	11.05.18 р.	
7	Оформлення та подання дисертації.	16.05.18 р.	

Студент

_____ (підпис)

Д.О. Іваненко

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

М.Ф. Боженко

(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

Магістерська дисертація на тему «Температурні та енергетичні показники печей графітування за технологією Кастнера»: 113с., 53 рис., 33 табл., 3 додатки, 30 джерел.

Об'єкт дослідження – печі Кастнера для графітування вуглеграфітових виробів.

Мета роботи – аналіз експериментальних досліджень температурно-теплових умов роботи печей Кастнера та розробка методики оперативного визначення у реальному часі температури вуглеграфітових заготовок при графітуванні за технологією Кастнера.

Проаналізовані основні способи підвищення енергетичної ефективності печей графітації за технологією Кастнера.

Розглянуті конструктивні характеристики печей графітування. Проаналізовані результати експериментальних досліджень температурно-теплових режимів роботи печі графітації та порашовані енергетичні баланси печей Кастнера.

Наведена методика визначення температури заготовок печі графітування Кастнера. Сформоване рівняння енергетичного балансу печі, в якому враховується кількість підведеної електричної енергії з урахуванням її втрат в пічних трансформаторах, випрямлювачах і супутньому обладнанні; корисні витрати енергії на нагрівання заготовок; паразитні витрати на прямий нагрів теплоізоляції, компенсаційної вставки та струмовідводу; витрати на нагрів та випаровування вологи з теплоізоляції, втрати з поверхні заготовок в навколишнє середовище і витрати енергії на ендотермічну реакцію газифікації. Розрахунками на чисельній моделі механічного та теплоелектричного стану печей Кастнера визначені температурні залежності коефіцієнта пропорційності паразитних витрат теплоти і ефективного коефіцієнта теплопередачі від поверхні заготовок в навколишнє середовище.

На базі програмного забезпечення Solid Works побудовано спрощену геометричну модель печі графітування Кастнера та отримані результати розподілу температурних полів по перерізу заготовки в процесі графітації.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: графітування, вугільні заготовки, піч Ачесона, піч Кастнера, теплоізоляція, температура, електрична енергія, втрати електроенергії, пічний трансформатор, енергетичний баланс.

АННОТАЦИЯ

Магистерская диссертация на тему «Температурные и энергетические показатели печей графитирования по технологии Кастнер»: 113с., 53 рис., 33 табл., 3 приложения, 30 источников.

Объект исследования - печи Кастнер для графитирования углеграфитовых изделий.

Цель работы - анализ экспериментальных исследований температурно-тепловых условий работы печей Кастнер и разработка методики оперативного определения в реальном времени температуры углеграфитовых заготовок при графитировании по технологии Кастнера.

Проанализированы основные способы повышения энергетической эффективности печей графитации по технологии Кастнера.

Рассмотрены конструктивные характеристики печей графитирования. Проанализированы результаты экспериментальных исследований температурно-тепловых режимов работы печи графитации и посчитаны энергетические балансы печей Кастнер.

Приведенная методика определения температуры заготовок печи графитирования Кастнера. Сформировано уравнения энергетического баланса печи, в котором учитывается количество подведенной электрической энергии с учетом ее потерь в печных трансформаторах, выпрямителях и сопутствующем оборудовании; полезные затраты энергии на нагрев заготовок; паразитные расходы на прямой нагрев теплоизоляции, компенсационной вставки и токоотвода; расходы на нагрев и испарение влаги с теплоизоляции, потери с поверхности заготовок в окружающую среду и затраты энергии на эндотермичную реакцию газификации. Расчетами на численной модели механического и теплоэлектрического состояния печей Кастнера определены температурные зависимости коэффициента пропорциональности паразитных расходов теплоты и эффективного коэффициента теплопередачи от поверхности заготовок в окружающую среду.

На базе программного обеспечения Solid Works построено упрощенную геометрическую модель печи графитирования Кастнера и получены результаты распределения температурных полей по сечению заготовки в процессе графитации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: графитирование, угольные заготовки, печь Ачесона, печь Кастнера, теплоизоляция, температура, электрическая энергия, потери электроэнергии, печной трансформатор, энергетический баланс.

ANNOTATION

Master's dissertation on "Temperature and energy parameters of Castner's technology graphitization furnace": 113p., 53 Fig., 33 tables, 3 annexes, 30 sources.

The object of research is Castner furnace for graphite carbon graphite products.

The purpose of the work is to analyze the experimental studies of the temperature and thermal conditions of the Castner furnaces and to develop a methodology for real-time determination of the temperature of carbon-graphite blanks during graphing using Castner technology.

The main ways to improve the energy efficiency of graphite kilns using Castner technology are analyzed.

The design characteristics of graphite furnaces are considered. The results of experimental studies of the temperature and thermal operating modes of the graphitization furnace are analyzed and the energy balances of the Castner furnaces are calculated.

The method used to determine the temperature of the Castner graphite furnace blanks. The equations of the energy balance of the furnace are formed, which takes into account the amount of electric energy supplied, taking into account its losses in furnace transformers, rectifiers and related equipment; useful energy consumption for billet heating; spurious costs for direct heating of thermal insulation, compensation insert and current lead; the costs for heating and evaporation of moisture from thermal insulation, loss from the surface of blanks to the environment and energy costs for the endothermic reaction of gasification. Calculations on the numerical model of the mechanical and thermoelectric state of Castner furnaces determine the temperature dependences of the proportionality coefficient of parasitic heat expenditures and the effective heat transfer coefficient from the surface of the blanks to the environment.

On the basis of the Solid Works software, a simplified geometric model of the Castner graphite furnace was constructed and the results of the distribution of temperature fields over the cross section of the billet during the graphitization process were obtained.

Keywords: graphitization, coal blank, Acheson furnace, Castner furnace, thermal insulation, electric energy, electricity losses, furnace transformer, energy balance.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
1 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕЧЕЙ ГРАФІТАЦІЇ ВУГЛЕГРАФІТОВИХ ВИРОБІВ (ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД)	18
1.1 Фізичні основи одержання штучних графітів.....	18
1.2 Конструкції печей і аналіз технологічного процесу графітування.....	21
1.3 Вимоги, що пред'являються до якості графітової електродної продукції.....	29
1.4 Аналіз доцільності застосування печей прямого нагрівання для виробництва графітової електродної продукції.....	30
1.5 Висновки до розділу 1, постановка задачі і програма досліджень	34
2 ТЕМПЕРАТУРНО-ТЕПЛОВІ РЕЖИМИ ПЕЧЕЙ ГРАФІТУВАННЯ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ КАСТНЕРА.....	38
2.1 Конструктивні характеристики печей Кастнера.....	38
2.2 Аналіз результатів експериментальних досліджень температурно-теплових режимів.....	41
2.3 Енергетичні баланси печей Кастнера	54
2.4 Експрес-методика визначення середньомасової температури печі графітування.....	61
2.5 Висновки до розділу 2.....	68
3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ ЗАГОТОВОК В ПРОЦЕСІ ГРАФІТАЦІЇ.....	70
3.1 Постановка задачі	70
3.2 Геометричне моделювання.....	70
3.3 Фізичне моделювання	74
3.4 Аналіз результатів	76
3.5 Порівняння результатів математичного моделювання з натурним експериментом	78
3.6 Висновки до розділу 3.....	79
4 РОЗРОБКА СТАРТАП- ПРОЕКТУ	81
4.1 Опис ідеї проекту.....	81
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту	85
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	85
4.4 Розроблення ринкової стратегії об'єкту.....	95
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	97
4.6 Висновки до розділу 4.....	99
5 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	100

5.1 Технічні рішення та організаційні заходи щодо безпечної експлуатації засобів обчислювальної техніки при виконанні науково-дослідної роботи	101
5.2 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії при виконанні науково-дослідної роботи	105
5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	113
5.4 Висновки до розділу 5.....	117
ВИСНОВКИ	119
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	121
ДОДАТОК А Технічне завдання на науково-дослідну роботу Ошибка! Закладка не определена. 8	
ДОДАТОК Б Акт впровадження результатів магістерської дисертації	110
ДОДАТОК В Список наукових праць (за формою № 3.3)	111
ДОДАТОК Г Результати перевірки магістерської дисертації на академіний плагіат	113

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Q – потужність, кількість теплоти, тепловий потік;

τ - час;

m – маса;

c_p – питома ізобарна теплоємність;

t – температура;

h – висота, ентальпія;

v – швидкість;

F – поверхня;

G – масова витрата;

l – довжина;

P – потужність;

U – напруга;

d – діаметр;

ρ – густина;

e – питома витрата електроенергії.

Індекси нижні:

ак – акумульована;

в – витрата;

вн – внутрішня;

вст – вставки;

втр – втрати;

еф – ефективний;

з – заготовка;

зов – зовнішня;

ном – номінальний;

ош – ошиновка;

п – піч;

підв – підведена;

пов – повітря;

ст – стінка;

ш – шихта.

Скорочення

НР – висока потужність (High Power);

UHP – надвисока потужність (Ultra High Power);

АСУ – автоматизовані системи управління;

ВДТ ПЕОМ – візуальні дисплейні термінали персональних електро-обчислювальних машин;

ДСП – дугова сталеливарна піч;

ЕОМ – електронна обчислювальна машина;

КЗ – коротке замикання;

КРТ – коефіцієнт термічного розширення;

НДЦ «РТ» – науково-дослідний центр «Ресурсозберігаючі технології» КПІ ім. Ігоря Сікорського ;

НС – надзвичайні ситуації;

ПАТ «Укрграфіт» - публічне акціонерне товариство «Український графіт»;

ПВЕ – питомі витрати електроенергії;

ПЕО – питомий електричний опір;

ПЛАС – план локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій;

ППН – піч прямого нагріву;

СО – системи оповіщення.

ВСТУП

Графітування вуглецевих матеріалів являється складним, високотемпературним багатоступінчастим процесом трьохвимірного впорядкування атомів вуглецю в структуру графіту, який відбувається в спеціальних графітувальних печах. На цьому етапі, який вирішальним чином впливає на якість готового продукту, використовується до 80 % всієї енергії, що витрачається на весь процес виготовлення графітових виробів. Тому підвищення енергоефективності електродного виробництва на переділі графітування не викликає сумнівів. Головним способом досягнення цього може бути управління температурними режимами графітувальних печей.

Управління температурним полем печі або температурним її регламентом ускладнюється тим, що графітування електродів відбувається в умовах високих температур і агресивного середовища, що обмежує використання прямих методів контролю температур. Крім того, всі вуглецеві матеріали, включаючи і сипучі, що завантажуються в піч мають дуже нелінійні електричні та теплофізичні характеристики, залежні від температури, тиску та гранулометричного складу, тому характер формування температурного поля в печі графітування досить складний і важко піддається як експериментальному, так і числовому дослідженню. Внаслідок цього графітування вуглецевих матеріалів проводять за наперед визначеними графіками введення електричної потужності в піч. Ці графіки встановлюють експериментально, в основі визначення яких лежить отримання виробів необхідної якості та відносно невисока витрата електроенергії. Однак, графіки введення електричної потужності, що отримані на підставі експериментів, не завжди є раціональними, оскільки залишаються невідомими досягнуті в заготовках кінцева температура обробки, термічні напруження тощо.

Об'єми виробництва графітованих електродів головним чином залежать від обсягів випуску сталі в дугових сталеливарних печах (ДСП). Зростання світового виробництва електросталі є основним драйвером розвитку ринку графітованих електродів. Підвищення потужностей ДСП вимагає виготовлення електродів великих діаметрів найвищої якості, які в міру техніко-економічних показників доцільно графітувати лише в печах прямого нагріву (ППН) за методом Кастнера.

Подальший розвиток електродної промисловості передбачає модернізацію діючих і розробку нових високоефективних технологічних регламентів процесу графітування електродних виробів, що забезпечують ресурсо- та енергозбереження, а також зменшення техногенного впливу на навколишнє середовище, що актуально для виробництв, які спеціалізуються на отриманні штучного графіту в ППН. Тому однією з найбільш важливих і актуальних завдань виробництва електродних виробів є розробка науково-обґрунтованих технологічних регламентів процесу графітування, що являє собою складну науково-дослідну роботу, яка включає високотемпературні вимірювання, понад 2500 °С.

Сучасний розвиток методів математичного моделювання складних систем, до яких і відноситься пічне обладнання електродного виробництва, дає змогу ефективно розв'язати дану науково-дослідницьку задачу в короткі терміни та з мінімальними матеріальними витратами, виконати оцінку теплоелектричного стану печей графітування за методом Кастнера за різних наперед заданих параметрів технологічного регламенту з метою визначення раціональних технічних рішень.

1 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕЧЕЙ ГРАФІТАЦІЇ ВУГЛЕГРАФІТОВИХ ВИРОБІВ (ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД)

Вуглеграфітові електродні вироби знайшли широке використання в різних галузях промисловості, зокрема, в металургійній в теплоелектричних установках для плавлення сталі, чавуну, кольорових металів, спеціальних сплавів тощо. Технологічні процеси в цих установках супроводжуються високими значеннями термічних, електричних і механічних навантажень. Тому, в якості конструкційного матеріалу потрібно використовувати такий, що характеризується наступними фізичними властивостями: високою термостійкістю, електропровідністю, хімічною інертністю, достатньою міцністю; мати високі антикорозійні й антифрикційні властивості, тощо. Матеріалом, що має такі властивості, є штучний графіт [1,2].

1.1 Фізичні основи одержання штучних графітів

Найбільш стійкою і поширеною формою вуглецю при звичайних умовах є графіт [3,4].

Підвищені механічні властивості графіту при нагріванні до високих температур і визначає вибір його як матеріалу для умов, де потрібна висока термостійкість і електропровідність [1,2,5].

Початок розвитку виробництва вуглеграфітових матеріалів пов'язано з відкриттям хімічних і електромагнітних способів отримання електричної енергії, зі збільшенням масштабів виробництва якої почалося промислове виробництво дугових джерел світла з вугільними електродами (анодами і катодами). Пізніше вони знайшли широке застосування в електротермії - дугових сталеплавильних печах і печах для переплавки кольорових металів.

Найбільшим споживачем вугільних виробів на сьогоднішній день є і алюмінієве виробництво при виготовленні анодів і катодів в електролізерах.

Вуглеграфіт використовується і як конструкційно-футеровочний матеріал в доменних і феросплавних печах, атомної промисловості, при виготовленні тиглів, нагрівачів, форм для виробництва кремнію і германію, в різних типах електрохімічних генераторів та ін.

Все перераховане вище і визначає необхідність постійного виробництва штучного графіту для електротермічних процесів.

Штучний графіт одержують з вуглецевмісних матеріалів - твердого наповнювача і зв'язуючого [6].

Основними вимогами, що пред'являються до наповнювачів, є хороша змочуваність зв'язуючих, висока електропровідність, механічна і термічна міцність. Властивості наповнювача в подальшому надають істотний вплив на експлуатаційну стійкість виготовлених вуглеграфітових електродів.

Сировиною для наповнювача служать різні види коксу (нафтові, кам'яновугільні та ін.), антрациту, термоантрацитів [7]. У нафтового коксу міститься 90 - 98% вуглецю, а в кам'яновугільного - 96 - 98%. Застосування, наприклад, коксу голчастої структури для

виготовлення вуглеграфітових електродів при подальшому їх застосуванні в електротермічних печах і установках сприяє підвищенню щільності струму.

Основною функцією зв'язуючого є надання зв'язаності і пластичності електродної маси при формуванні. В якості зв'язуючого застосовуються кам'яновугільні пеки (м'які, середньотемпературні і високотемпературні), що відрізняються температурами розм'якшення.

Відповідно до технологічної схеми отримання вуглеграфітових виробів (рисунок 1.1) [2] спочатку сирі вуглецеві матеріали (наповнювач) піддають подрібненню, а потім здійснюють їх термічну обробку без доступу повітря в прожарювальних печах. При прожарюванні з наповнювача видаляється волога і летючі речовини, змінюється його структура, максимально ущільнюється речовина, зростають механічна міцність, електро- і теплопровідність та термостійкість [6]. Температуру прожарювання підтримують не нижче температури подальшого випалення.

Після охолодження прожарений матеріал надходить в розмольне відділення, де розмелюють до зерен розмірами 0,5 - 10 мм. Міцність і теплопровідність одержуваного графіту істотно залежить від дисперсності порошку коксу.

Далі розмелений наповнювач надходить в ситові відділення, сортові дозувальні бункери, а потім в обігрівачий змішувач, де протягом 1 - 5 год здійснюється перемішування коксу з пеком. Добавка в цьому процесі хімічно активного відновника сприяє вдосконаленню структури графіту. Оптимальною температурою в процесі перемішування, наприклад, при застосуванні середньотемпературного пеку, є 125 - 150 °C.

Готова вуглецева маса попередньо охолоджується до 100 °C і надходить в пресове відділення, де їй надають потрібну форму і отримують так звані «зелені заготовки».

Пресування маси виробляють або формуванням в закриту матрицю, або продавлюванням через мунштук певної форми, або віброущільненням. Спосіб пресування впливає на щільність і пружні властивості графітованого матеріалу.

Зелені заготовки, які вистигли, завантажують у спеціальні багатокамерні печі, зверху засипають коксопісковою сумішшю і замурують, після чого обпалюють без доступу повітря протягом 20 - 40 діб. Температура засипки печі досягає 950 - 1250 °C. При випалюванні відбувається коксування зв'язуючого, а заготовки спікаються в міцні моноліти. Тривала витримка (близько 50 год) при максимальній температурі випалу дозволяє отримати вугільні вироби з підвищеною щільністю.

Технологія випалу і фізико-хімічні процеси, що протікають в заготовках при різних температурах, описані в роботі [2]. В ній відзначається, що швидкість підйому температури,

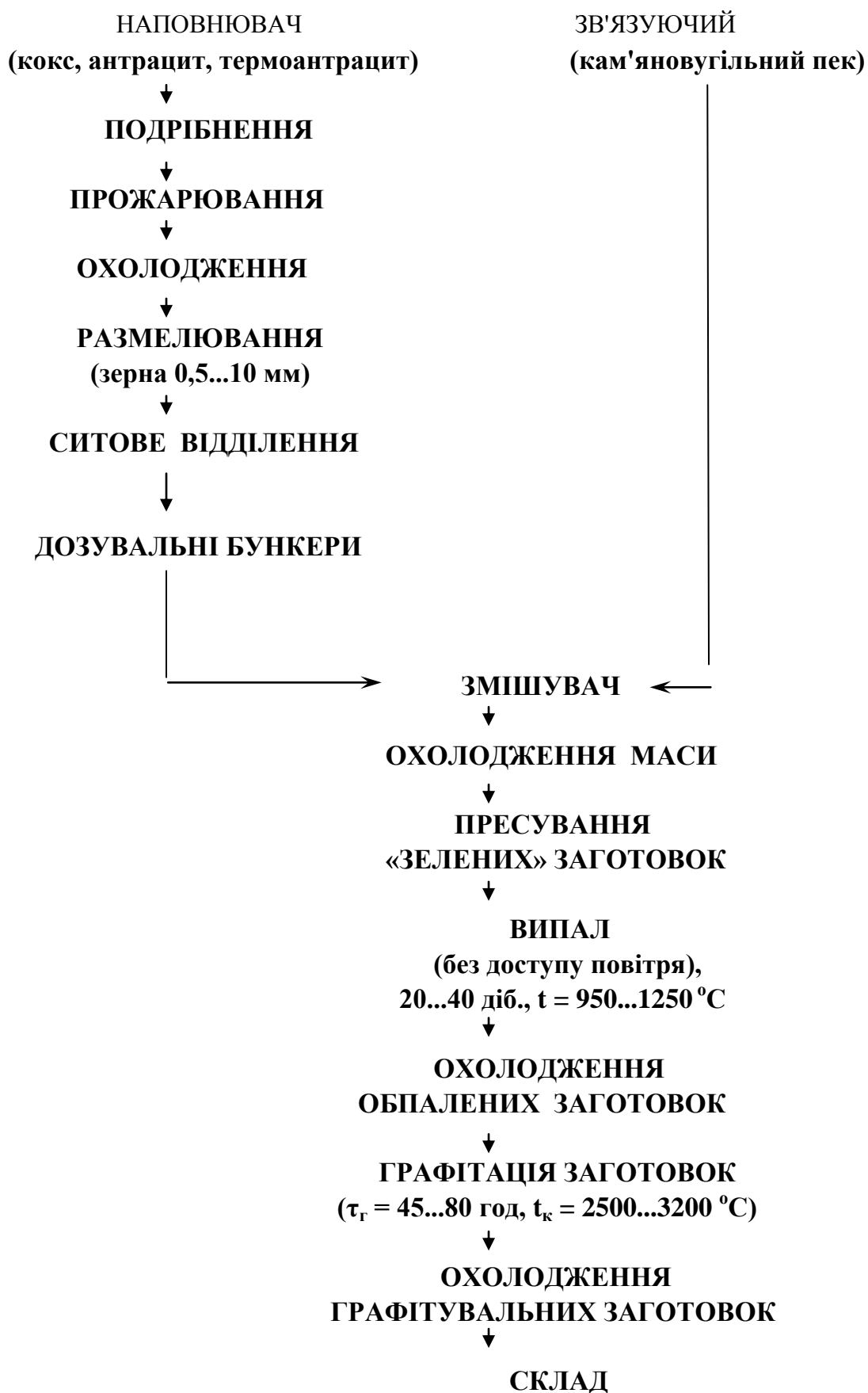


Рисунок 1.1 – Технологічна схема отримання електродних графітових виробів

гранулометричний склад і природа вуглецевих матеріалів, матеріал засипки впливають на вихід коксу і властивості електродних виробів

Завершальною технологічною стадією при виробництві вуглеграфітових матеріалів є процес графітації, сутність якого полягає в високотемпературній обробці цих матеріалів до 2500 - 3000 °С в спеціальних графітувальних печах.

Фізико-хімічні основи процесу графітації викладені в роботах [2, 7,9,10] і ін. авторів.

В процесі графітації попередньо обпалених заготовок (напівфабрикатів) відбувається перебудова структури вуглецевих матеріалів. Початок переходу вуглецевих речовин в стан графіту відповідає температурам 1000 - 1400 °С. Закінчуються ці процеси в залежності від способу утворення вуглецевого неграфітового матеріалу і виду використаної сировини при температурах від 2500 до 3000 °С [9]. При високотемпературній обробці виробів відбувається безперервна зміна властивостей матеріалів – підвищення щільності і теплопровідності; зниження електричного опору, твердості і змісту зольних домішок; зниження реакційної здатності, зокрема, окислюваність; поліпшення деяких антифрикційних властивостей.

Різні температурні інтервали при графітації характеризуються певними фізико-хімічними процесами, що відбуваються в заготовках, а саме: при нагріванні до температури 1200 - 1300 °С відбувається термічне розширення виробів. В інтервалі 1200 - 1600 °С відбувається перебудова кристалічної решітки і ущільнення структури матеріалу. Інтервал 1600 - 2000 °С називають передкристалізаційним в зв'язку з упорядкуванням структури матеріалу. В роботі [11] відзначається, що в результаті одночасного протікання процесів термічного розширення і усадки в заготовках виникає внутрішня напруга, яка є причиною утворення тріщин. Щоб уникнути цього явища рекомендується в інтервалі температур 1200 - 2100 °С уповільнити темп нагріву. При нагріванні до температур понад 2100 °С одночасно з триваючим процесом кристалізації знову відбувається збільшення лінійних розмірів. Графітація, як зазначено вище, закінчується при температурах 2500 - 3000 °С.

Основними напрямками підвищення експлуатаційної стійкості великогабаритних електродів, як зазначено в роботі [12], є зниження питомого електричного опору (ПЕО) і коефіцієнта термічного розширення (КРТ), підвищення теплопровідності; підвищення стабільності якості електродів за ПЕО, за об'ємною масою і за міцністю на вигин.

1.2 Конструкції печей і аналіз технологічного процесу графітування

Процес графітації електродних заготовок в промисловості здійснюється в електричних однофазних печах опору періодичної дії непрямого та прямого нагрівання. При цьому в малих обсягах печі можна сконцентрувати великі кількості енергії, що

виділяється при проходженні електричного струму, що дозволяє створювати температури до 3000 °С [2,6,9,10,11].

Під терміном «електрична піч» розуміють весь комплекс пічного обладнання, включаючи власне піч і трансформатор, що зв'язує електричну, так звану коротку мережу (вторинний струмопідвід).

При промисловому виробництві графітувальних виробів процес графітації здійснюється за двома технологіями: Ачесона і Кастнера. Технологічний режим графітування змінюється у залежності від конструкції печі, однак основні операції – завантаження печі та режими графітування – властиві всім типам печей і відрізняються тільки способами виконання цих операцій.

Основними елементами конструкції печей за технологією Ачесона (рисунок 1.2) є дві торцеві стінки, з'єднані між собою основою, яка є подиною печі. Відстань між електродами (в нормальній печі) і між електродами і з'єднувальним провідником (в П - подібній печі) є робочим об'ємом печі, який завантажується графітуючими виробами. Завантажений обсяг печі графітування називається керном.

Подина печей, що виконана з шамотного вогнетривкого матеріалу або жароміцного бетону, має коритоподібну форму. Для захисту вогнетривкої основи від впливу високих температур вона зверху набивається сумішшю з піску і вуглецевого матеріалу.

У нормальних печах, що працюють на постійному і змінному електричному струму, останній рухається від електродів, розташованих в одній торцевій стінці, до електродів, розташованих в протилежній стінці.

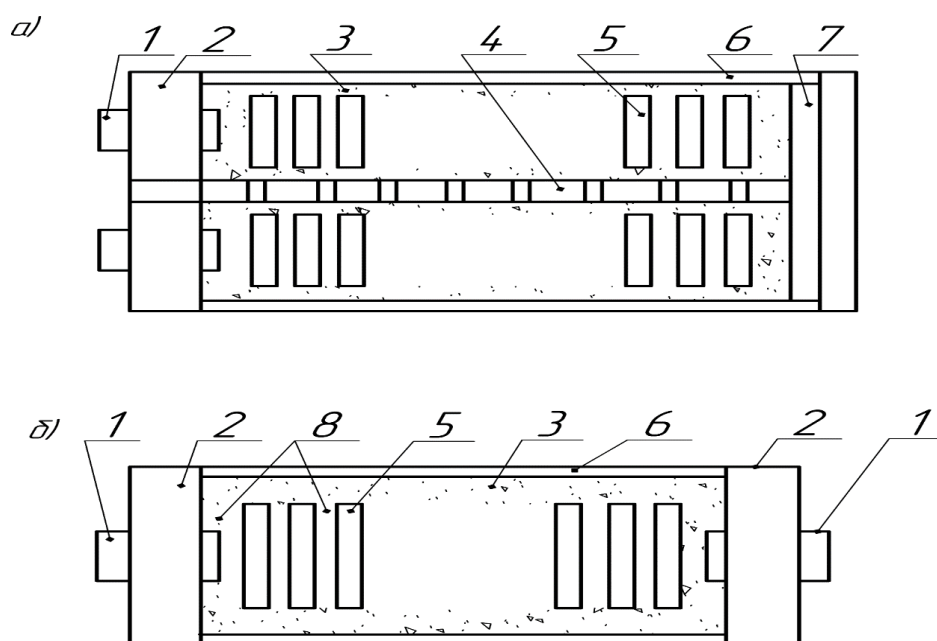
У П-подібних печах, що працюють тільки на постійному струму, останній рухається по П-подібному контуру від одних електродів до інших, розташованих в одній торцевій стінці, через сполучний провідник, що знаходиться біля протилежної торцевої стінки, яка є спільною для двох секцій. З'єднувальним провідником є монолітна графітова перемичка [13], що складається з графітованих блоків прямокутного перетину. Блоки укладаються кладкою, що утворює задню торцеву стінку здвоєної печі.

Бічні стінки призначені для збереження обсягу завантажених виробів і допоміжних матеріалів. Ці стінки - розбірні, їх кожену кампанію збирають і розбирають. Будують також печі, в яких бічні стінки нерозбірні, або розбирається одна стінка для зручності обслуговування печі при розвантаженні і завантаженні. Бічні стінки можуть примусово охолоджуватися повітрям, який рухається в спеціальних вертикальних каналах.

Заготовки в цих печах укладаються поперек повздовжньої осі печі, тобто перпендикулярно напрямку протікання струму (рисунок 1.3).

Робочим електричним опором у печах Ачесона слугує коксова керна пересипка, а нагрів вуглецевих заготовок здійснюється теплопровідністю і випромінюванням від пересипання, що знаходиться в просторі між заготовками.

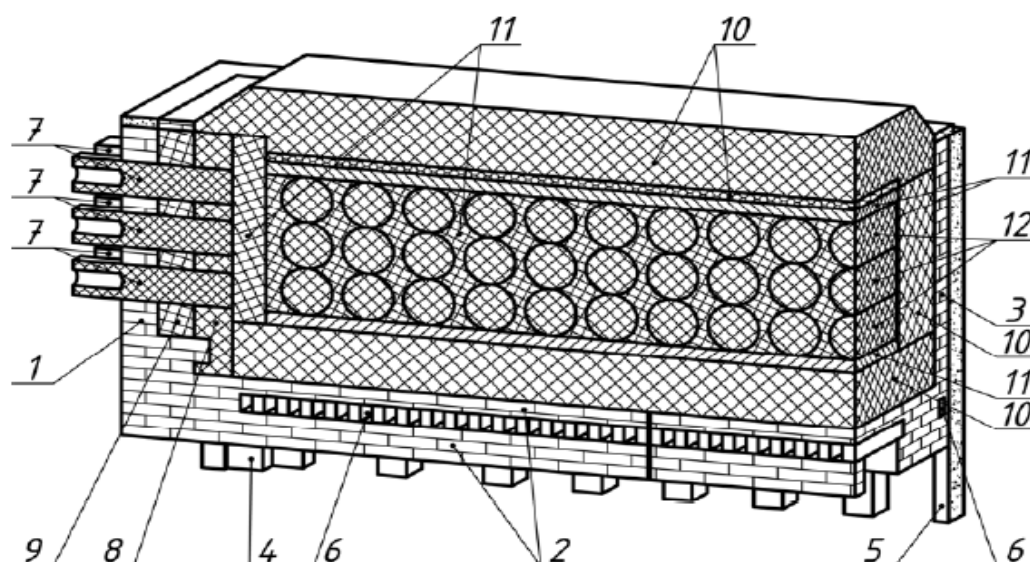
При пропусканні електричного струму через піч графітування відбувається розігрів керна печі джоулевою теплотою до досить високих температур [14, 15].



а). П-подібна піч; б). нормальна піч Ачесона;

1 - струмопровідні електроди; 2 - торцеві стіни; 3 - теплоізоляційна шихта; 4 - роз'єднувальна стінка; 5 – електроди, які графітуються; 6 - бічні стінки; 7 - з'єднувальний провідник; 8 - пересипання.

Рисунок 1.2 – Схеми основних типів графітувальних печей за технологією Ачесона



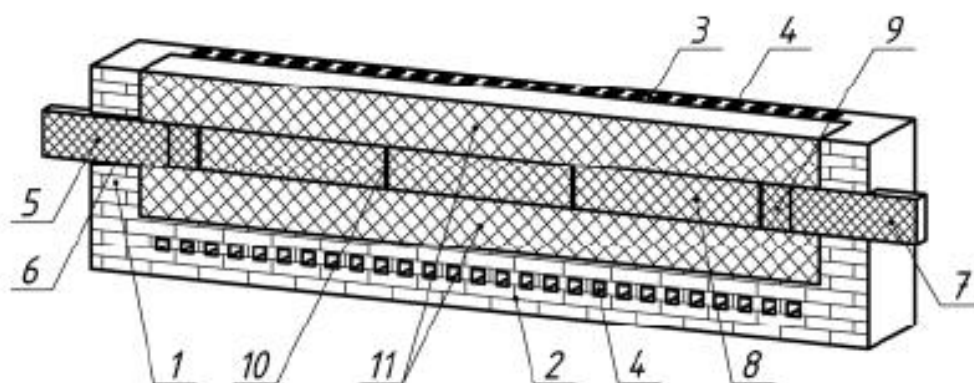
1,3 – торцева та бічна стінки; 2 – подина; 4, 5 – залізобетонні колони; 6 – повітряні канали;

7 – струмопідводи; 8 – графіто-вугільний захисний екран; 9 – графітова стружка;

10 – теплоізоляція; 11 – керна пересипка; 12 – заготовки

Рисунок 1.3 – Укладання заготовок в печах Ачесона

У графітувальних печах Кастнера на подину завантажують шар теплоізоляції, що складається з суміші тонкоподрібнених вуглецевих матеріалів, на якій розташовують декілька вуглецевих заготовок послідовно, паралельно або паралельно-послідовно. Нагрівання заготовок здійснюють за рахунок прямого пропускання через них електричного струму, тобто печі Кастнера (рисунок 1.4) є печами прямого нагріву.



1,3 – торцева та бічна стінки; 2 – подина; 4 – повітряні канали; 5 – рухомий струмопідвід;

6 – гніздо рухомого струмопідводу; 7 – нерухомий струмопідвод; 8 – заготовки;
9 – вставка; 10 – демпферна прокладка; 11 – теплоізоляція

Рисунок 1.4 – Піч прямого нагрівання Кастнера

Схеми укладання заготовок в печах Кастнера наведені на рисунку 1.5.

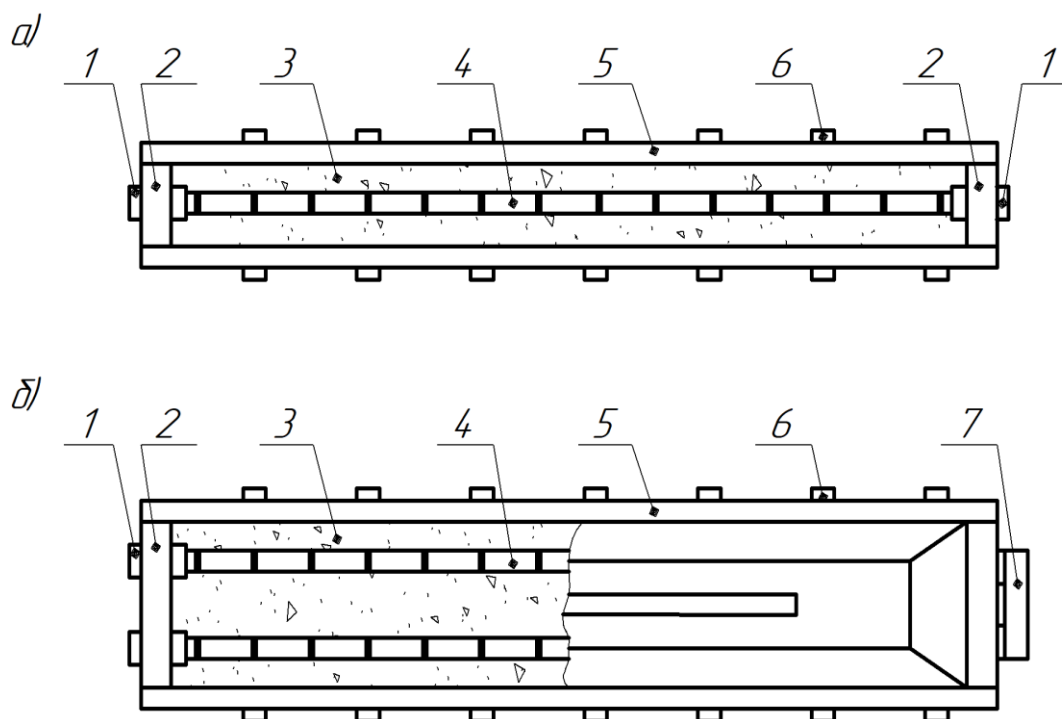
Розміри печей для графітації за технологіями Кастнера і Ачесона залежать від величини завантаження і від геометричних розмірів виробів, які графітуються. У промисловій практиці застосовують печі довжиною від 4 до 20 м, які живляться змінним струмом, і до 40 м - постійним струмом.

Електрична енергія до робочого об'єму печей графітування підводиться за допомогою графітованих електродів, які мають високу електропровідність і допускають високі щільності струму (до 12 А / см²).

Термін протікання процесу графітування в печі за технологією Кастнера триває до 40 годин, а за технологією Ачесона – 45 - 80 годин.

Охолодження печей відбувається природним чином протягом кількох діб. На практиці для прискорення цього процесу застосовують «мокре» гасіння. При зниженні температури до величини близько 100 °С заготовки вивантажують з печі.

З метою мінімізації тепловтрат та забезпечення захисту вогнетривкої кладки печей від впливу високих температур застосовується теплоізоляційна шихта. В подині та бічних стінках печі



а) послідовно; б). паралельно-послідовно

1 - струмопровідні електроди; 2 - торцеві стіни; 3 - теплоізоляційна шихта; 4 - електроди, які графітуються; 5 – бічні стінки; 6 – колони бетонні; 7 – електрична перемичка.

Рисунок 1.5 - Схеми укладання заготовок в печах Кастнера

З метою мінімізації тепловтрат та забезпечення захисту вогнетривкої кладки печей від впливу високих температур застосовується теплоізоляційна шихта. В подині та бічних стінках печі існують канали, які приєднані до витяжної вентиляційної системи і також виконують функцію захисту футерування від високих температур та збору шкідливих для довкілля газів. На верх печі встановлюється газозбірний ковпак, який також має подвійне призначення: для захисту довкілля від шкідливих газів, що виділяються при графітуванні та зменшення тепловтрат при використанні теплоізоляційного шару в конструкції ковпака.

Піч Кастнера в порівнянні з піччю Ачесона має певні переваги за такими енергетичним та технічним характеристикам [6]: ПВЕ і термін графітування заготовок; рівномірність графітування заготовок по їх перетину і довжині, що відповідно позитивно впливає і на фізичні властивості електродних виробів. До недоліків печей прямого нагріву можна віднести такі: високі вимоги до якості обпалених заготовок; складність формування

робочого простору печі із забезпеченням надійного контакту між заготовками у свічках під час усього процесу графітування; наявність рухомих струмовідводів та системи стискання свічки із заготовок; високі вимоги до трансформаторів живлення. Все це і визначило те, що найбільш поширеними в СНД стали печі непрямого нагріву Ачесона, які представляють собою модернізовані печі для карбонізації.

Основним фактором, що визначає якість графітування вуглецевого матеріалу, є досягнута кінцева температура. Інтервал температур, в якому відбуваються структурні перетворення, знаходиться в діапазоні 2400 – 3000 °С. Для отримання якісного штучного графіту, температура обробки повинна перевищувати 2800 °С [15].

Наступним не менш важливим фактором є тривалість витримки виробів за максимально досягнутої температури. На підставі експериментальних досліджень встановлено, що за температури понад 2800 °С процес графітування протікає досить швидко, а тому тривалість витримки вихідного вуглецевмісного матеріалу за цих температур не чинить на процес істотного впливу [16]. Також встановлено, що під час термічного оброблення за температур вищих 2300 °С витримка протягом 1 год так само ефективна, як і протягом 7 год.

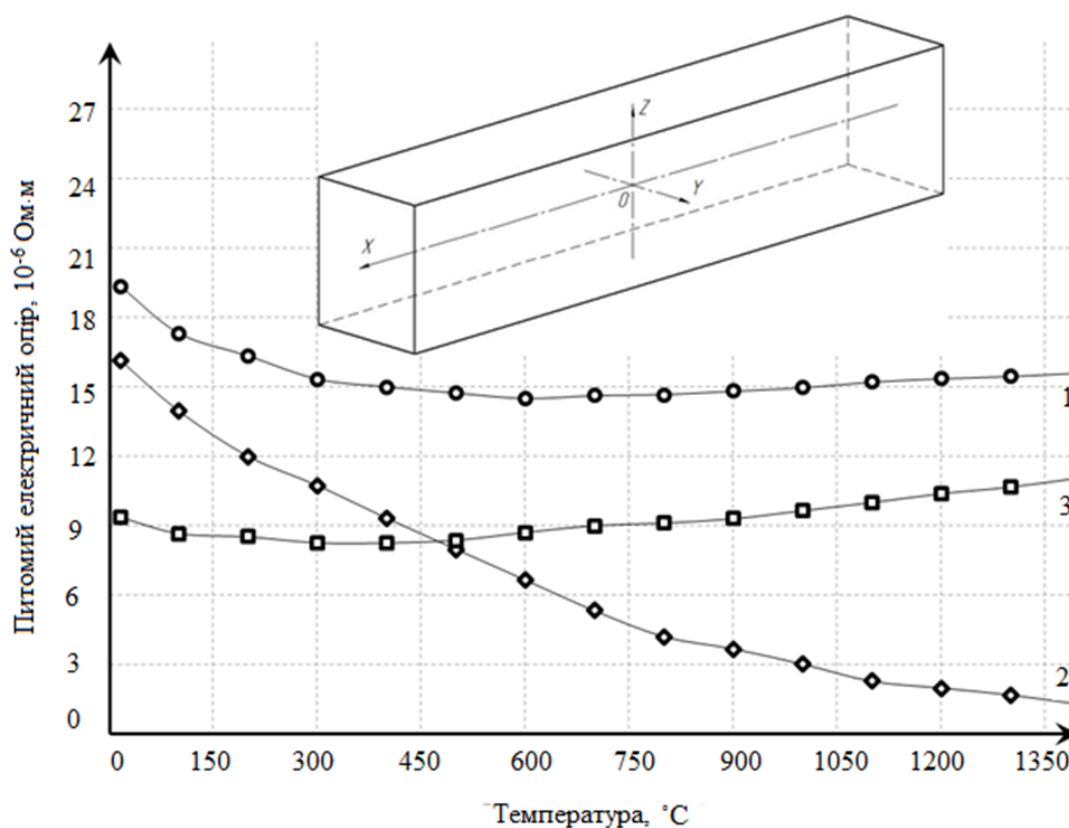
Термічна обробка вуглецевмісних матеріалів відбувається завжди у присутності газового середовища, склад якого змінюється залежно від умов ведення процесу. Під час обробки матеріалів у вакуумі або за низького тиску, в атмосфері газів різного складу експериментально встановлено, що газове середовище чинить істотний вплив на процес графітування. Склад неконтрольованого газового середовища формується з летких домішок, які присутні в оброблюваному матеріалі. Завдяки взаємодії атомів домішок з атомами вуглецю в газовому середовищі завжди присутні молекули сполук вуглецю. Присутність кисню в газовому середовищі прискорює процес графітування. Аналогічний вплив, хоча і в меншій мірі, викликає вуглекислий газ. Вплив азоту та аргону на процес графітування не виявлено. На процес утворення графіту впливає присутність водню в газовому середовищі, який можна знайти навіть після високотемпературного графітування [15,16].

Значний вплив на процес графітування чинять внутрішні напруження в матеріалі. Як було виявлено, пластична деформація за високих температур і спрямованих зовнішніх навантажень значно збільшує швидкість графітування. Процес утворення графіту зміщується в бік більш низьких температур за підвищення зовнішнього тиску.

Також потрібно відзначити вплив електромагнітного поля на фізико-хімічні перетворення вуглеграфітового матеріалу під час їх обробки в термоелектричних установках. Експериментально встановлена відмінність процесів перетворення матеріалу за однакових температур в промислових і лабораторних умовах.

За допомогою проведених в трьох взаємно перпендикулярних напрямках замірів питомого електричного опору графітованих в печі Ачесона електродних заготовок встановлено, що вони показують різну температурну залежність (рисунок 1.6). Така відмінність пояснюється частково орієнтацією кристалів графіту під час процесу пресування заготовок та їх попередньою термічною обробкою, а також орієнтацією нових кристалів вздовж ліній напруженості електромагнітного поля під час процесу графітування.

Електропровідність графітових зразків у напрямку OZ переважно здійснюється за рахунок переміщення електронів уздовж вуглецевих решіток. У напрямку OY і ще більшою мірою в напрямку OX електропровідність здійснюється переважно за рахунок переміщення електронів в напрямку, перпендикулярному вуглецевим решіткам. Електропровідність в перпендикулярному до вуглецевих решіток напрямку здійснюється за рахунок електронів, що переміщуються по поверхні кристалів графіту. Розсування вуглецевих решіток, що виникає під час підвищення температури, сприяє звільненню валентно зв'язаних електронів, наслідком чого є покращення електропровідності графіту в напрямку OZ .



1 – вздовж осі OY ; 2 – вздовж осі OZ ; 3 – вздовж осі OX ;

Рисунок 1.6 – Залежність питомого електричного опору графітових зразків від температури та напрямку замірів

1.3 Вимоги, що пред'являються до якості графітової електродної продукції

В промисловості відсутній універсальний показник якості графітової електродної продукції, а тому вимоги до якості встановлюються залежно від умов її експлуатації. Залежно від умов застосування проводяться такі оцінки [11]:

- фізичних властивостей: дійсна та насипна (об'ємна) густина, пористість, ПЕО, теплопровідність, теплоємність, коефіцієнт температурного лінійного розширення;
- механічних властивостей: межа міцності на стиск і згин, коефіцієнт тертя, модуль пружності;
- хімічних властивостей: окиснюваність;
- наявності домішок: вміст заліза, сірки тощо.

За необхідності також проводять оцінку коефіцієнта анізотропії для фізичних і механічних властивостей, який залежить від вихідної сировини та способу пресування виробів.

Головною вимогою, яку висувають металурги до графітової електродної продукції є їх низьке значення ПЕО. Якщо значення ПЕО електродів буде високим, то більша частина електроенергії буде витрачатися не на технологічний процес, а на нераціональне надмірне нагрівання графітових електродів. Кращі графітові зразки електродної продукції на сучасному ринку мають показник цього параметра майже 3,5 мкОм·м, а середнє значення, що дає змогу виробнику бути конкурентоспроможним становить 4,5 - 5 мкОм·м. Головним технологічним чинником, що забезпечує низьке значення ПЕО електродів є рівень досягнутих температур під час процесу їх графітування. Встановлено, що якщо значення мінімальної температури електродних заготовок під час їх термообробки перевищують 2600 °С, то якість графітування електродів буде завідомо високою.

Фізичні та механічні властивості електродних виробів залежать від природи і фракційного складу вихідних матеріалів, способу їх пресування та від ступеня графітування. Кількість наявних домішок залежить від зольності вихідного матеріалу та технологічних добавок, що вводяться під час формування виробів.

Згідно даних, наведених в літературного джерела [17], з ростом температури теплопровідність графітових виробів зменшується, а теплоємність і механічна міцність навпаки – зростають; ПЕО графітових виробів, що пройшли термообробку за температур понад 2500 °С, знижується під час їх нагрівання до температури близько 800 °С, а з подальшим підвищенням температури – незначно збільшується. Усереднені значення фізичних властивостей графітових електродних виробів за кімнатної температури представлено в таблиці 1.1.

1.4 Аналіз доцільності застосування печей прямого нагрівання для виробництва графітової електродної продукції

Графітування вуглецевих електродних виробів за методом Ачесона є надзвичайно енергоємним і, відповідно, коштовним процесом, але водночас і незамінним у разі використання коксу низької якості з високим вмістом сірки. Хоча більш економічний метод Кастнера, або так зване прямоточне поздовжнє графітування було винайдено раніше, його не застосовували досить тривалий час через недоступність промислових електричних випрямлячів, розрахованих на велику силу струму. Доступність потужних випрямлячів і голчастого коксу з низьким вмістом сірки й азоту дали можливість розвинутися в другій половині минулого століття методу прямоточного поздовжнього графітування електродної продукції. Завод SGL Group в Італії був першим, починаючи з 1960-х років, який почав виготовляти графітові електроди за методом Кастнера у промисловому масштабі.

Таблиця 1.1 – Усереднені фізичні властивості графітових електродних виробів

Властивість	Значення для графітових електродних виробів			
	ЕГ	ЕГП	ЕГС	ЕГСП
Густина, г/см ³ , не менше				
– об’ємна	1,52	1,62	1,52	1,62
– дійсна	2,20	2,20	2,20	2,20
Пористість, %, не більше	30	28	30	28
ПЕО, мкОм·м, не більше	10	10	9	8
Границя міцності, МПа, не менше				
– на стиск	16,0	17,0	14,0	17,0
– на згин	5,0	10	6,0	9,0
Модуль Юнга, ГПа	6 - 9	8 - 10	7 - 10	10 - 11
Коефіцієнт температурного лінійного розширення (20 - 500 °С), 10 ⁻⁶ К ⁻¹	2,2 - 2,5	2,4 - 3,0	2,0 - 2,4	1,3 - 2
Зольність, %, не більше	0,5	0,5	0,3	0,3

В таблиці 1.1 прийняті скорочення марок електродних виробів: Е – електродний; Г – графітований; П – просочений; С – спеціальний

Додавання оксиду заліза в якості інгібітора призводить до зменшення розтріскування електродів під час процесу десульфуризації, що дає можливість зменшити тривалість графітування за методом Кастнера до 10 год (рисунок 1.7).

Питома витрата електроенергії під час графітування електродної продукції в ППН зазвичай не перевищує 3500 кВт·год/т, що на 15 – 25 % менше, ніж їх графітування в традиційних печах Ачесона. Крім того, під час графітування електродних виробів за методом Ачесона їх кінці завжди графітуються за більш низьких температур, ніж центральна частина. Цей недолік повністю

відсутній у разі використання поздовжнього графітування вуглецевих виробів за методом Кастнера.

Принципово нова технологія графітування вуглецевого матеріалу за методом Кастнера дає можливість нагрівати заготовки практично будь якої довжини, забезпечуючи однорідність властивостей матеріалу по всій довжині. Ця обставина дає змогу різко розширити асортимент електродної продукції марки НР (hight power – високої потужності) та UHP (ultra hight power – надвисокої потужності), що використовується для ДСП високої та надвисокої потужності.

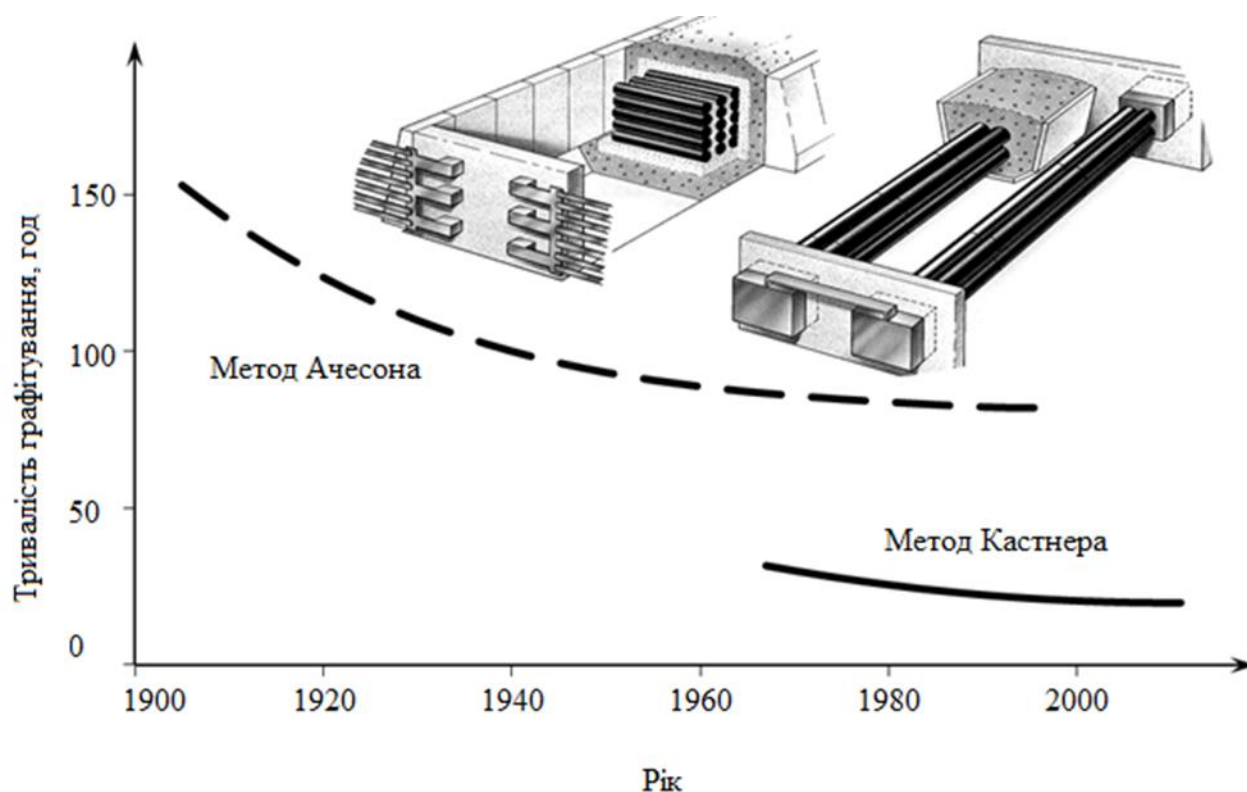


Рисунок 1.7 – Розвиток різних технологій графітування

Високі ціни на електроенергію та глобальна конкуренція змушують заводи й надалі покращувати ефективність виплавки сталі. Плавильні печі з продуктивністю нижче 75 т/год, швидше за все, зникнуть найближчим часом, а технологія ДСП значно витіснить інші конкурентні методи виплавки металу.

Подальші перспективи розвитку ДСП пов'язані з переходом на печі постійного струму, які будуть застосовувати електроди діаметром 700 - 800 мм і довжиною до 2800 мм із питомим електричним опором не більше 5 мкОм·м. Таку продукцію принципово неможливо виготовити, використовуючи традиційні печі, що працюють за методом графітування Ачесона. В таблиці 1.2 наведені розміри та деякі фізичні властивості найбільших за розмірами електродів, що випускають сьогодні провідні вітчизняні та закордонні компанії з виготовлення вуглеграфітової продукції.

Основним джерелом теплової енергії під час плавлення сталі в ДСП є електрична дуга, яка горить безперервно між шихтою (чи розплавом металу) та електродною свічкою. Остання, як правило, складається з одного чи кількох графітових електродів. Оскільки частина вартості електродів в собівартості сталі складає приблизно 8 - 10 %, то при вартості графітових електродів понад 3000 \$ за тону головним критерієм оцінки якості роботи свічі є питомі витрати електродного матеріалу, віднесеного до тони виплавленої сталі.

Компанія SGL Group розробила комп'ютерну модель печі, за допомогою якої можна прогнозувати витрату графітових електродів для різних експлуатаційних параметрів ДСП, а також для різних діаметрів і фізичних властивостей графітових електродів .

Витрата графітових електродів в 1960 р. становила близько 7 кг/т, сьогодні цей показник був знижений майже до 1 кг/т (рисунок 1.8). За спеціальних умов експлуатації показники споживання можуть становити менше 1 кг/т . Також з'ясовано, що витрата електродів головним чином зменшується із збільшенням його розмірів.

Таблиця 2.2 – Розміри та фізичні властивості найбільших за розмірами графітових електродів, які виготовляють сучасні компанії

Компанія	Найбільший номінальний діаметр, мм	Найбільша номінальна довжина, мм	Питомий електричний опір, 10^{-6} Ом·м	Об'ємна густина, 10^{-3} кг/м ³	Температурний коефіцієнт лінійного розширення, 10^{-6} м/(К·м)
SGL group	800	2700	4,0 - 5,5	1,68 - 1,77	0,3 - 0,6
GrafTech International	750	2700	4,0 - 4,9	1,67 - 1,75	0,2 - 0,5
Tokai Carbon Co.	800	2700	4,2 - 5,5	1,68 - 1,75	0,5 - 0,9
Група Енергопром	700	2700	4,0 - 6,0	1,65 - 1,78	0,2 - 0,7
ПАТ "Укрграфіт"	700	2700	4,0 - 8,5	1,58 - 1,82	1,3 - 2,5

Примітка. Дані взяті з офіційних сайтів виробників станом на 08.2016 р.

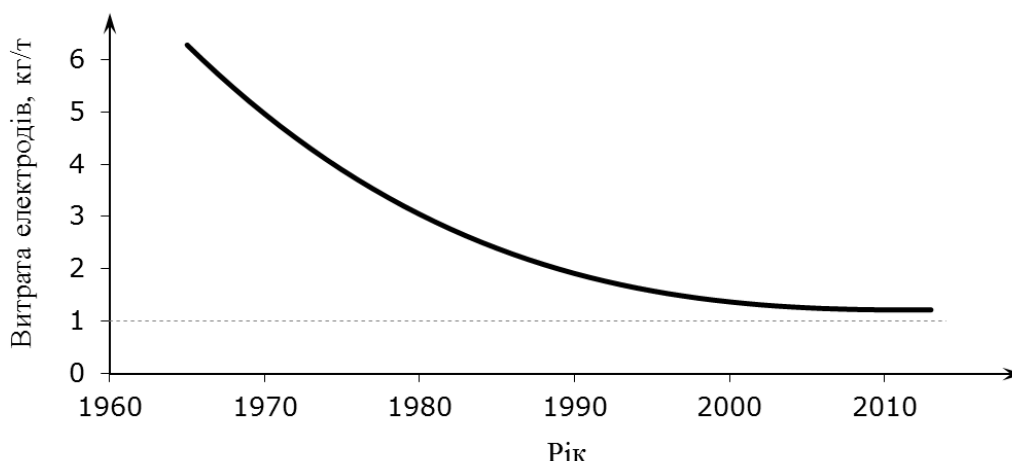


Рисунок 1.8 – Витрата графітових електродів (кг) на тону виробленої сталі

Тенденція підвищення електричної потужності ДСП призводить до необхідності отримувати графітові електроди з більшим діаметром. Наслідком цього стало підвищення термічного навантаження в графітованих електродах. Принцип керамічного зміцнення, що перешкоджає утворенню тріщин на великих частинках коксу, потребує застосування коксу з великим розміром частинок, максимальний розмір яких у наш час перевищує 20 мм (рисунок 1.9). Компанія SGL була першою, де було виготовлено графітовий електрод діаметром 800 мм. Подальше збільшення діаметра графітових електродів при застосуванні постійного струму дещо припинилося у наші дні, але тенденція до помірного підвищення діаметра може виникнути найближчим часом у нових надпотужних ДСП змінного струму з масою до 250 т.

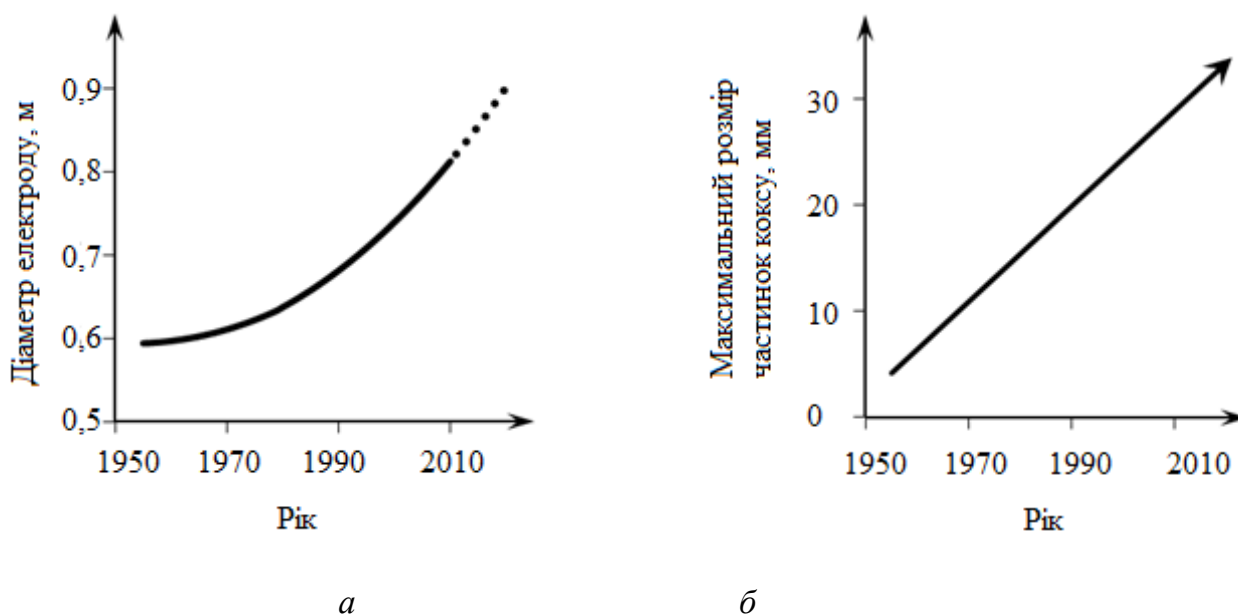


Рисунок 1.9 – Тенденції збільшення діаметра графітових електродів (а) та максимального розміру зерен коксу (б)

1.5 Висновки до розділу 1, постановка задачі і програма досліджень

Аналіз показників процесу графітації, виконаний на основі вивчення літературних джерел, показує наступне.

На електродних підприємствах України, СНД і далекого зарубіжжя для графітування вуглеграфітових виробів застосовують дві технології: Ачесона і Кастнера.

За способом Ачесона нагрів вуглецевих заготовок здійснюється теплопровідністю і випромінюванням від пересипання, що знаходиться в просторі між заготовками, в нормальних прямих і П-подібних печах. За методом Кастнера вуглецеві заготовки завантажуються в піч паралельно її осі і нагріваються пропускається через них безпосередньо електричним струмом.

Кожна з технологій має свої переваги і недоліки, і на сьогоднішній день немає єдиної думки про те, яка з них краще. У більшості випадків вибір тієї чи іншої технології на кожному підприємстві визначається низкою об'єктивних і суб'єктивних факторів.

Автори ряду досліджень [7,17] акцентують увагу на відповідальності операції завантаження печі. Простір печі повинно бути заповнене керном таким чином, щоб опір його було однаковим по всьому перетину. Це забезпечує рівномірність розподілу струму по всьому перетину і рівномірне нагрівання. У роботах [18-20] рекомендуються нові схеми завантаження. Так наприклад, запропонована і випробувана авторами роботи [18] комбінована схема завантаження (чергування розташування великих і дрібних заготовок) дозволила збільшити вихід заготовок вищого сорту.

На показники графітації істотний вплив роблять матеріали пересипання і теплоізоляційної шихти.

Пересипання застосовується для створення рівномірного електроопору по перетину і довжині керна. Кількість пересипання становить близько 12 % від кількості завантажуваних виробів прямокутного перетину і 25 % – електродів.

Дослідженню процесу графітації з різними матеріалами пересипання і теплоізоляції присвячена робота [21].

Автори робіт [18-20], наприклад, показали, що розподіл джоулевої теплоти і, відповідно, перепаду температури по перетину керна, визначається в основному температурної залежністю питомої електроопору пересипання і якістю теплоізоляції.

Важливим фактором є сталість гранулометричного складу пересипання, що дозволяє точно відтворювати температурний режим графітації. При графітації великих виробів застосовують пересипання розміром 25 - 30 мм, а для дрібних виробів – 5-10 мм.

Застосування графітованої пересипання з меншим електроопору дозволяє зменшити перепад між температурою пересипання і температурою в центрі графітуючих виробів за рахунок виділення великої кількості теплоти всередині заготовок, що дозволяє вести більш «крутий» підйом потужності, ніж рекомендується при використанні пересипання з «сирого» коксу, без збільшення шлюбу через появу тріщин. Застосування графітованого коксу передбачає його багаторазове використання, що різко скорочує необхідну кількість коксу для графітації і знижує собівартість продукції.

Теплоізоляційна шихта повинна володіти високими теплоізоляційними властивостями, низькою теплопровідністю і високим електроопору.

Шихта повинна містити не менше 75% фракції 2 мм. Застосування піску призводить до зменшення електропровідності, але збільшення його змісту сприяє зростанню теплопровідності. На ряді підприємств застосовують безпісочну шихту. Введення деревної тирси в шихту знижує як теплопровідність так і електроопір, зменшуючи її об'ємну щільність.

На теплоізоляційні властивості шихти впливає вміст вологи в ній. При зміні вмісту вологи в шихті може змінюватися температурний режим в печі, але при цьому графік потужності залишається постійним. Теплопровідність шихти збільшується з ростом вологості, але одночасно створюються передумови для витоку струму, знижується гранично допустима температура і зменшується ефективність використання електроенергії. Рекомендується використовувати шихту з вмістом вологи 3 - 4 %. Аналізу впливу різних чинників на процес графітації вуглеграфітових виробів і дослідженню режимів цього процесу присвячені роботи [1,7,22].

З робіт Чалих Е.Ф., Касаточкіна В.Н., Веселовського В.С. та ін. авторів відомо, що процес графітації електродних заготовок є процес, головним чином, термічний. Будь-яке порушення рівномірності температурного поля в робочому об'ємі печі тягне за собою зміну якісних показників, які в основному визначаються температурою обробки. Швидкість підйому температури визначає ефективність процесу - якість виробів, вихід придатного і витрати електроенергії.

Управління процесом графітації ведеться по заздалегідь заданій витраті електроенергії або по зміні питомого електроопору. Найбільш правильно було б управляти процесом графітації і визначати кінець кампанії по вимірюваній температурі в керна печі.

Проведений аналіз робіт [1,10,11] по способам вимірювання температур показує, що в промислових умовах практично неможливо виконати достовірні вимірювання температур, що характеризують закінчення процесу графітації (2500 - 3000 °С.). Отже, найбільш прийнятним способом визначення температурних полів в печах графітації є метод математичного моделювання. Слід зазначити, що найбільш істотний внесок у розробку і впровадження математичного моделювання процесу графітації внесли Знамеровский В.Ю. з співробітниками, а також співробітники НДЦ «Ресурсозберігаючі технології» КПІ ім. Ігоря Сікорського Карвацький А.Я. і Лелека С.В. (науковий керівник Панов Є.М.).

Для оперативного управління процесом графітації в промислових умовах необхідно мати у своєму розпорядженні зручні для практичного користування безрозмірні рівняння, що дозволяють при відомих технологічних параметрах (кількість і розміри заготовок; кількість і властивості теплоізоляції і пересипання) для будь-якого часу і величини підведеної енергії визначати температуру заготовок. Більш повні і ґрунтовні розробки у цьому напрямку виконані для графітування вуглеграфітових виробів в печах Ачесона і практично відсутні для печей графітування за технологією Кастнера.

Завдання досліджень :

1) Дослідження температурно-теплогового режиму печей графітування постійного струму при графітації електродів різних розмірів в печах Кастнера, що включають:

- обґрунтування і вибір методів визначення температур в печі;
- аналіз експериментальних даних з визначення температур в заготовках і теплоізоляції печей Кастнера;
- оцінка енергетичних характеристик процесу графітації. .

2) Розробка методики оперативного визначення середньомасової температури печей графітування за технологією Кастнера.

3) Математичне моделювання температурних полів заготовок в процесі графітації.

4) Розробка стартап-проекту експрес методики визначення середньомасової температури заготовок в печі.

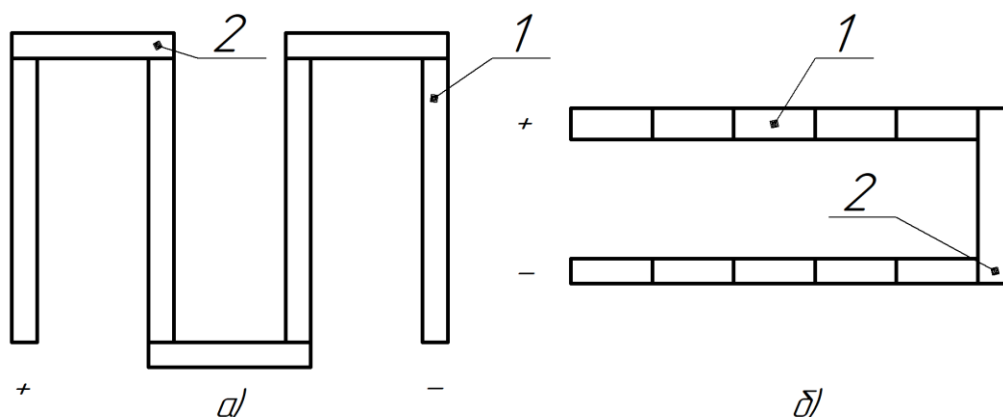
5) Розробка заходів з охорони праці при графітуванні електродної продукції в печах Кастнера.

2 ТЕМПЕРАТУРНО-ТЕПЛОВІ РЕЖИМИ ПЕЧЕЙ ГРАФІТУВАННЯ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ КАСТНЕРА

2.1 Конструктивні характеристики печей Кастнера

Технологія процесу графітування в печах Кастнера та її конструктивні характеристики розглянуті в розділі 1. Нижче наведені деякі особливості під'єднання печей до джерела струму та конструкції всієї пічної установки.

В даний час розроблені конструкції графітувальних печей, в яких до джерела струму підключають кілька виробів. Підключення може бути або паралельним, або послідовним. При послідовному підключенні, яке має переваги порівняно з паралельним, можливі два варіанти розташування графітувальних виробів - горизонтальне або вертикальне (рисунок 2.1). Більш простим в експлуатації є горизонтальне розташування виробів.



а - вертикальне підключення до джерела струму; б - горизонтальне;

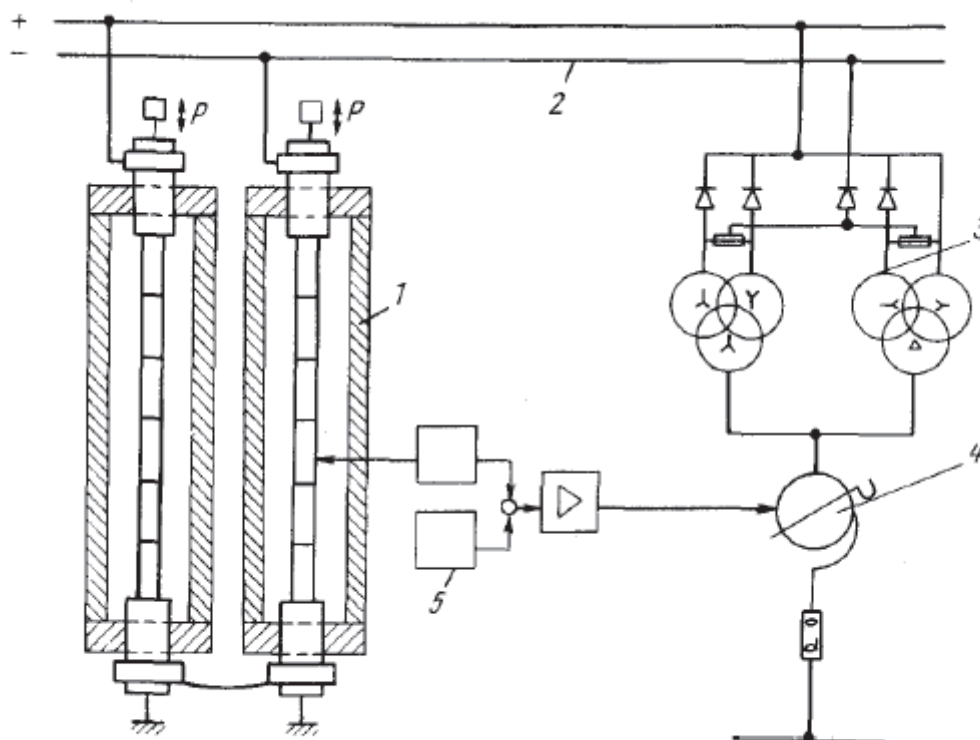
1 -електроди; 2 – перемичка

Рисунок 2.1 - Схема розташування електродів при послідовному підключенні до джерела струму

На рисунку 2.2 зображена схема пічної установки для поздовжньої графітації електродів. Установка складається з двох послідовно з'єднаних печей. Така конструкція печі дозволяє не тільки подовжити ланцюг електродів, які підлягають графітації, а й істотно зменшити довжину шинопровода.

Власне піч 1 являє собою подовжену ванну, в центрі якої укладаються послідовно з'єднані електроди (гілка, ланцюг). Піч складається з поду, двох торцевих стінок і бокових стін. Піч будується зі збірних вогнетривких елементів. Торцеві стінки, звані іноді головками печі, підсилені розташованою зовні сталевією конструкцією. У торцевих стінках закладені струмопідвідні електроди. На одній стороні печі струмопідвідні електроди влаштовані рухомими

для компенсації зміни довжин ланцюга в ході процесу графітації, на іншій стороні печі електроди змонтовані жорстко. Вся пічна механіка змонтована на візку як рухливий вузол. На тому ж візку змонтовані пристрої, що забезпечують охолоджуючою водою контактні плити. Рухомий вузол виконує ряд відповідальних операцій: створює надійне з'єднання головного шинного пакета з електродами в голівках печі, працює в якості потужнострумового вимикача і виконує функції притискного пристрою. Рухомий механізм обслуговує по черзі всю групу печей, забезпечуючи безперервну роботу установки.



1 - піч; 2 - головний шинний пакет; 3 - випрямна установка; 4 - регулювальний трансформатор; 5 - блок вимірювання і управління температурним режимом
Рисунок 2.2 – Схема установки для поздовжньої графітації електродів

Збірка ланцюга електродів в печі – відповідальна операція, так як від якості збірки залежить якість контактів між електродами. Контактні ділянки ланцюга, які утворюються, притиснуті один до одного торцями електродів, є критичними ділянками всередині печі, так як при проходженні струму вони розігріваються сильніше, ніж сама ланцюг. Після обрізки електродів на пресах їх торцеві поверхні нерівні, і хорошого контакту не забезпечують. Тому циліндричні поверхні і торцеві поверхні електродів піддають механічній обробці. Якість контактів залежить не тільки від точності і чистоти обробки, але і контактного тиску на ланцюг електродів. Надійний контакт забезпечується під тиском 0,4 - 1,0 МПа. Ланцюг електродів захищений від окислення вугільної

пересипкою. Ця пересипка міцно утримує покладений ланцюг електродів і служить тепловою ізоляцією.

На печах поздовжньої графітації можна графітувати електроди діаметром понад 600 мм. Довжина електродів не обмежується, можна графітувати електроди довжиною навіть більше 2 м. Однак електроди діаметром менше 300 мм графітувати на цій печі не вигідно - різко знижується продуктивність печі, ускладнюються укладання ланцюга і догляд за нею. Досвід зарубіжних підприємств відзначає, що заводи поздовжньої графітації не виробляють електроди малих перерізів, а здобувають необхідні заготовки для ніпелів на інших заводах, обладнаних печами Ачесона.

Характеристика джерела струму: номінальна сила струму 120 кА, номінальна напруга 200 В; можливо плавне регулювання напруги від 30 до 200 В. При графітації електродів відносно невеликих розмірів (діаметром 400 - 450 мм) встановлена потужність використовується неповністю, а при графітації електродів великих перерізів потужність використовується майже на 90%.

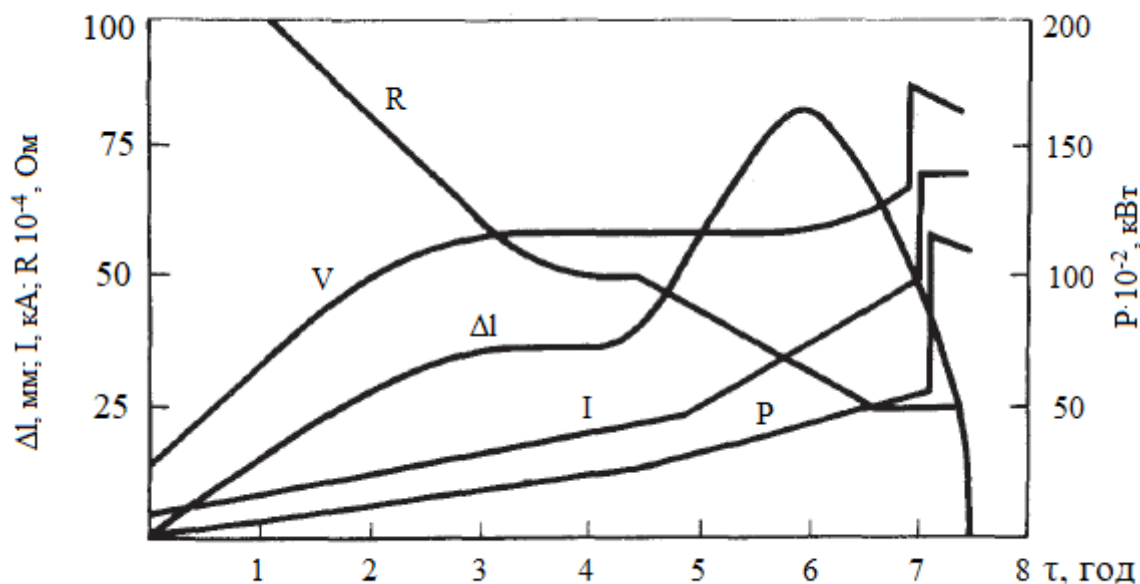
На рисунку 2.3 наведена залежність основних технологічних параметрів від часу, витраченого в процесі нагрівання. Ці дані відносяться до кампанії графітації для електродів діаметром 450 мм. Тривалість процесу близько 7 год, для більших розмірів виробів процес трохи довший, але не більше 10 год.

Головним технологічним параметром є струмове навантаження. На початку процесу воно невелике – близько $4-5 \text{ А / см}^2$. Протягом перших 5 год навантаження зростає до $20 - 25 \text{ А / см}^2$, ще через 2 год досягає 40 А / см^2 , а за останні 30 хв - до 50 А / см^2 . Ці дані відносяться до процесу графітації електродів діаметром 450 мм; з подальшим збільшенням розмірів електрода зростання струмового навантаження сповільнюється [2].

Тепловий ефект процесу визначається законом Джоуля - Ленца. Тому при невеликій початковій щільності струму не створюються великі перепади температур між центром і периферією електрода, які призводять до його руйнування. Справа в тому, що теплопровідність вихідного електрода дуже низька, і потрібен якийсь час, щоб відвести від нього теплоту і зменшити перепад температур. З підвищенням температури теплопровідність електрода зростає і зменшується різниця температур по перерізу електрода. При температурі вище 2000°C навіть дуже швидке збільшення температури не може викликати руйнування електрода.

Процес графітації завжди супроводжується усадкою, яка зазвичай становить близько 1% від довжини електрода. Якщо на початку процесу графітації за рахунок коефіцієнта термічного розширення ланцюг довжиною 12,5 м збільшується приблизно на 100 мм, то після графітації відбувається усадка, яка складе близько 125 мм. Отже, конструкцією головки печі повинно бути передбачено вільний рух електрода мінімально на 250 мм. Зміна довжини електродного ланцюга

(рисунок 2.3) під час графітації і наступної фази охолодження має характерні хід: приблизно до 1000°C довжина безперервно зростає, до температури приблизно 1500°C - майже не змінюється, потім знову підвищується до кульмінаційної точки, яка лежить близько 2500°C .



P - потужність; I - сила струму; R - опір печі; Δl - зміна довжини електрода; V - напруга

Рисунок 2.3 - Залежність основних технологічних параметрів процесу поздовжньої графітації від часу нагрівання

Після досягнення кульмінаційної температури навіть при подальшому її підвищенні довжина ланцюга починає помітно зменшуватися, і ці усадочні явища продовжуються аж до закінчення процесу графітації (3000°C). Після досягнення максимальної температури усадка ланцюга електродів триває, але вже за рахунок охолодження [2].

2.2 Аналіз результатів експериментальних досліджень температурно-теплових режимів

В магістерській дисертації використані результати експериментальних досліджень на печах прямого нагріву Кастнера, виконані співробітниками НДЦ «Ресурсозберігаючі технології» КПІ ім. Ігоря Сікорського (Лелекою С.В., Педченком А.Ю., і ін.).

2.2.1 Методика проведення експерименту

Для вимірювання температури використовувалися вольфрам-ренієві і хромель-алюмелеві термопари індивідуального виготовлення, термоелектроди яких ізолювані високотемпературною каоліновою ниткою.

Фізичний експеримент виконувався згідно розробленої схеми розміщення термопар в дослідній печі Кастнера, представленої на рисунках 2.4 – 2.11, на якій місця установки вольфрам-ренієвих термопар вказані квадратом, а хромель-алюмелевих – колом.

Завантаження печі проводилося у два ряди (колони) по 13 заготовок з діаметром $\varnothing 435$ мм з використанням компенсаційних вставок на кінцях. Ряди заготовок розташовувалися горизонтально один від одного по нижньому краю струмопідводу. Зусилля стиснення колон з електродних заготовок становило біля 284–291 кН. Для покращення контакту між електродними заготовками використовувалися електроконтактні прокладки кільцевого типу на основі терморозширеного графіту. У якості теплоізоляційного матеріалу застосовано оборотний коксовий дріб'язок фракції $(-6+1)$ мм з додаванням просушеного та просіяного «свіжого» коксового дріб'язку фракції $(-6+1)$ мм.

В системі охолодження струмопідводів використовувалися металеві пояси із внутрішнім зазором для пропускання охолоджувальної води. Витрата води протягом кампанії графітування становила $5,5 \text{ м}^3/\text{год}$. Площа контакту між кожним з поясів охолодження та струмопідводом становила $1,43 \text{ м}^2$.

Для проведення вимірювання температури використовувались вольфрам-ренієві термопари в захисних керамічних чохлах (рисунок 2.12), що розміщувалися в центрі електродних заготовок та на глибині 50 мм у відповідних досліджуваних перерізах. Також використовувались хромель-алюмелеві термопари у захисних металевих чохлах і без них для дослідження температури у менш нагрітих частинах печі (рисунок 2.13), а саме: в теплоізоляції, на поверхні подини та бічних стінках, що знаходяться в контакті з теплоізоляцією, на поверхнях струмопідводів, в струмені води на вході та виході з поясу системи охолодження. З метою експериментального визначення полів температури на зовнішніх конструкційних поверхнях печі графітування Кастнера також отримано відповідні термограми за допомогою тепловізора ULIRvision.

Падіння напруги на експериментальній печі вимірювалось із використанням цифрового реєстратора МИРЭС-2.

Для забезпечення надійної роботи вимірювальних датчиків застосовувалися такі технічні рішення [23]:

- для уникнення замикання вільних кінців термопар їх розміщували у фторопластовій ізоляційній трубці;
- для захисту кінців термопар і їх електроізоляції від механічних пошкоджень, що виникають під час просідання теплоізоляції печі, використовувалися рукави із мулітокремнеземистої тканини та кремнійорганічної гуми.
- для нейтралізації незв'язаного кисню в керамічні чохла вольфрам-ренієвих термозондів поміщали незначну кількість вуглецевмісного матеріалу (папір).

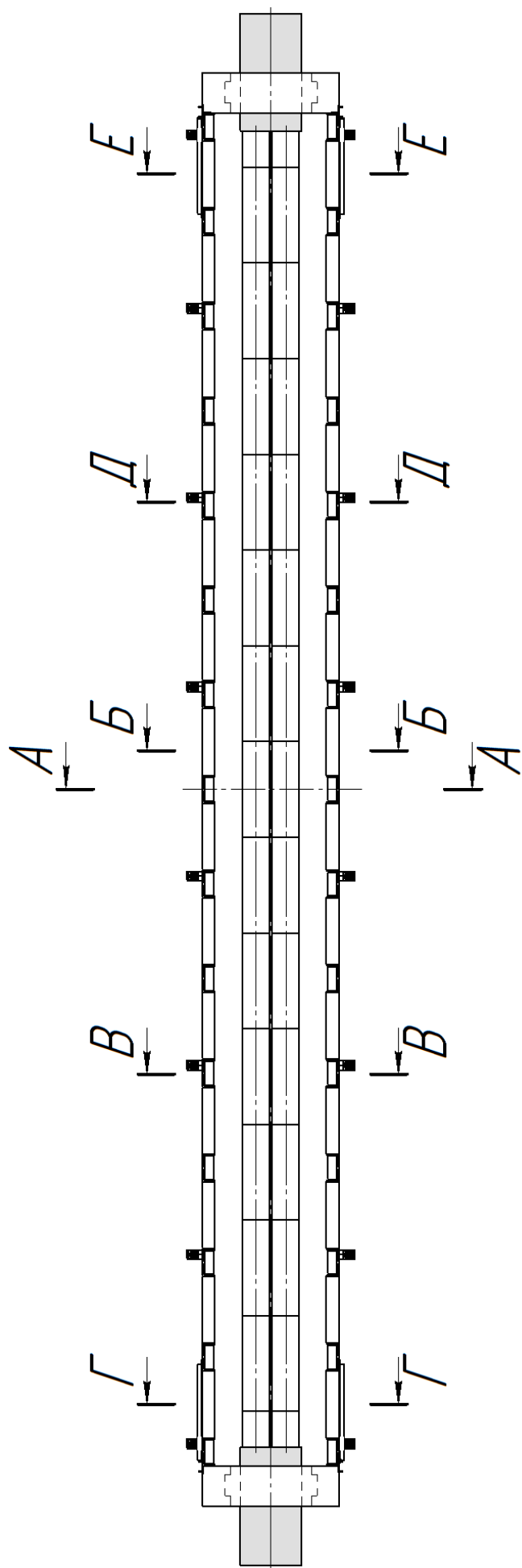


Рисунок 2.4 - Перерізи печі Кастнера, в яких проводилися вимірювання температури під час проведення кампанії графітування

Г-Г

В-В

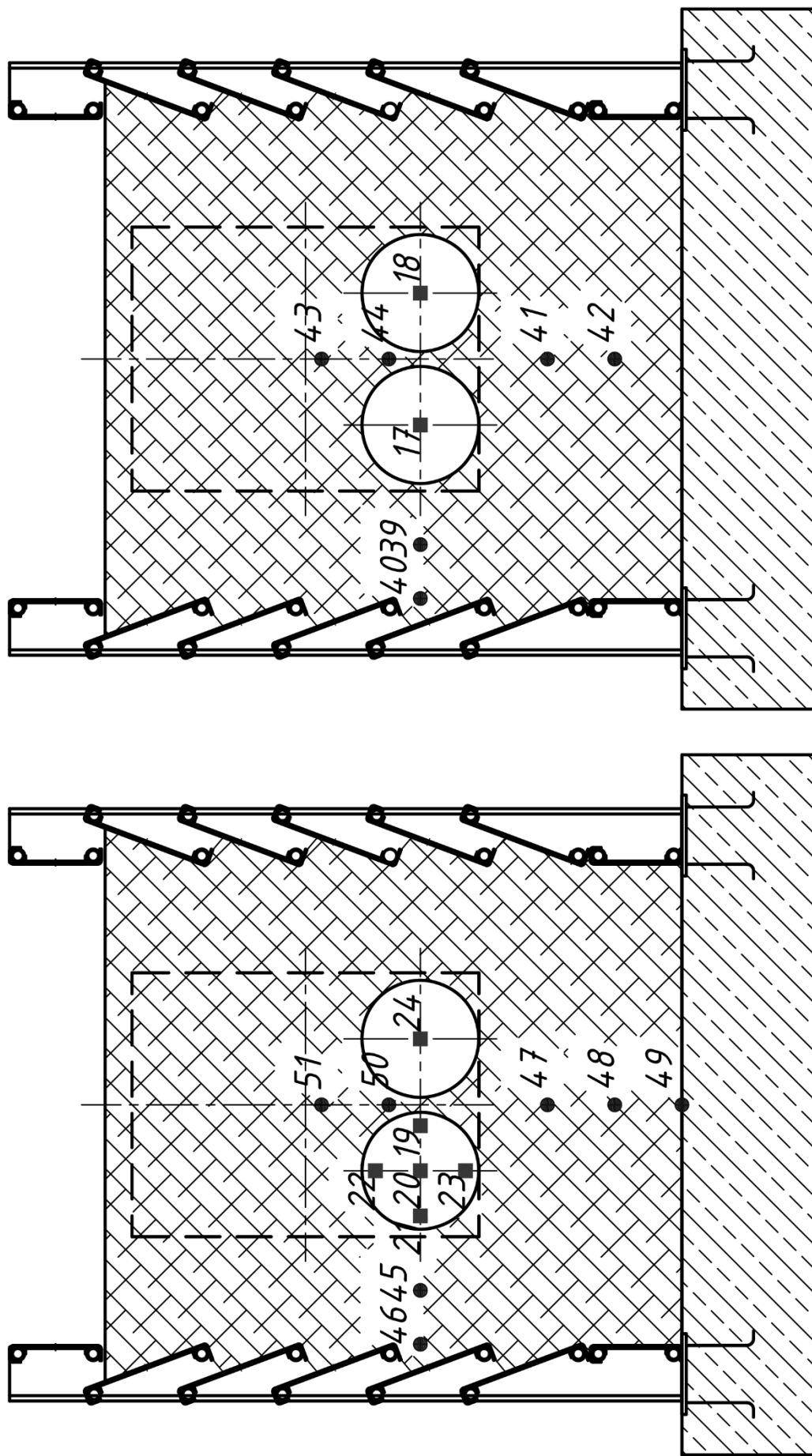


Рисунок 2.8 - Розміщення термопар в перерізі Г-Г печі Кастнера під час проведення експерименту

Рисунок 2.7 - Розміщення термопар в перерізі В-В печі Кастнера під час проведення експерименту

E-E

Д-Д

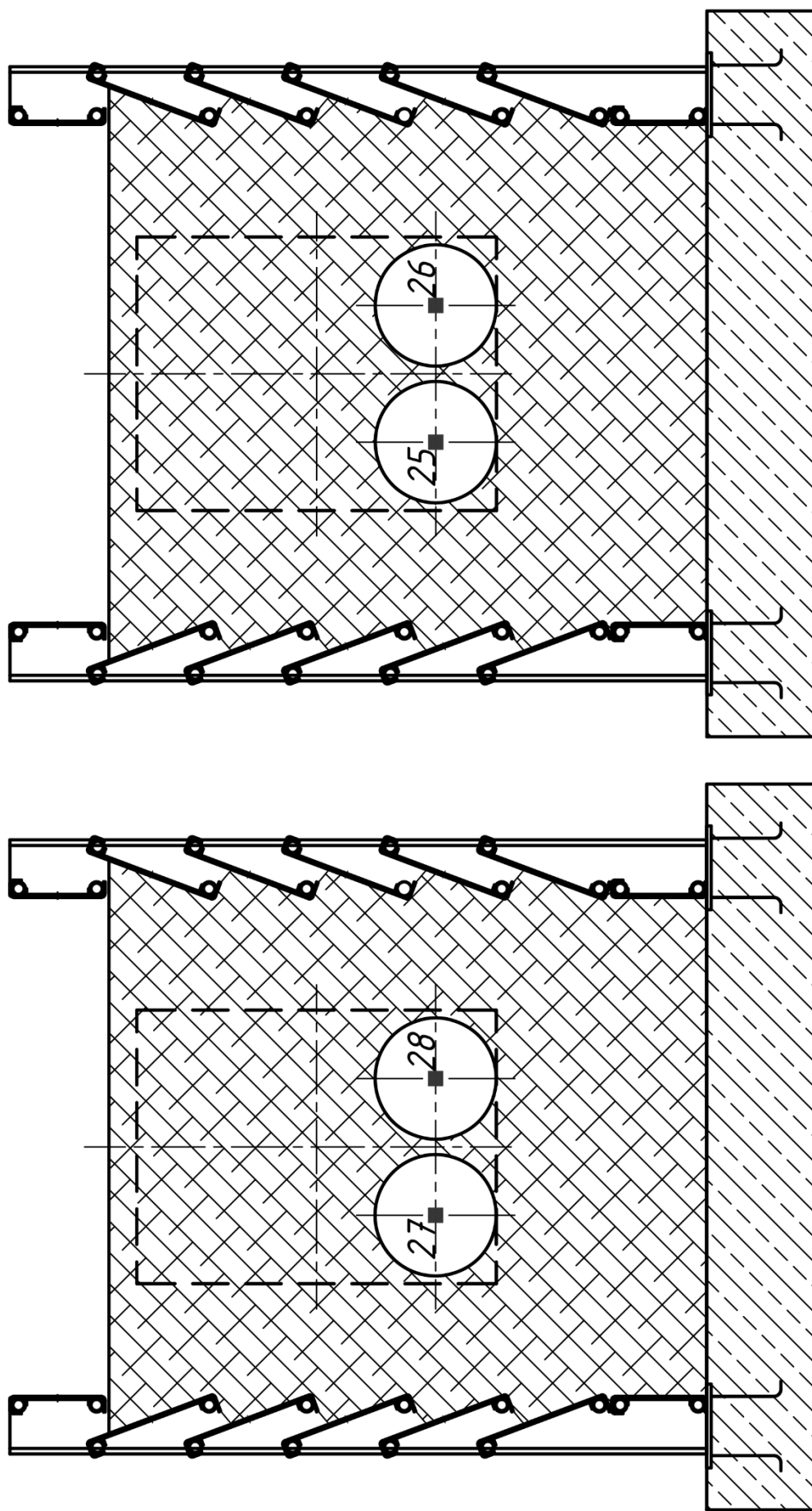


Рисунок 2.10 - Розміщення термопар в перерізі Е-Е печі Кастнера під час проведення експерименту

Рисунок 2.9 - Розміщення термопар в перерізі Д-Д печі Кастнера під час проведення експерименту

Струмопідводи

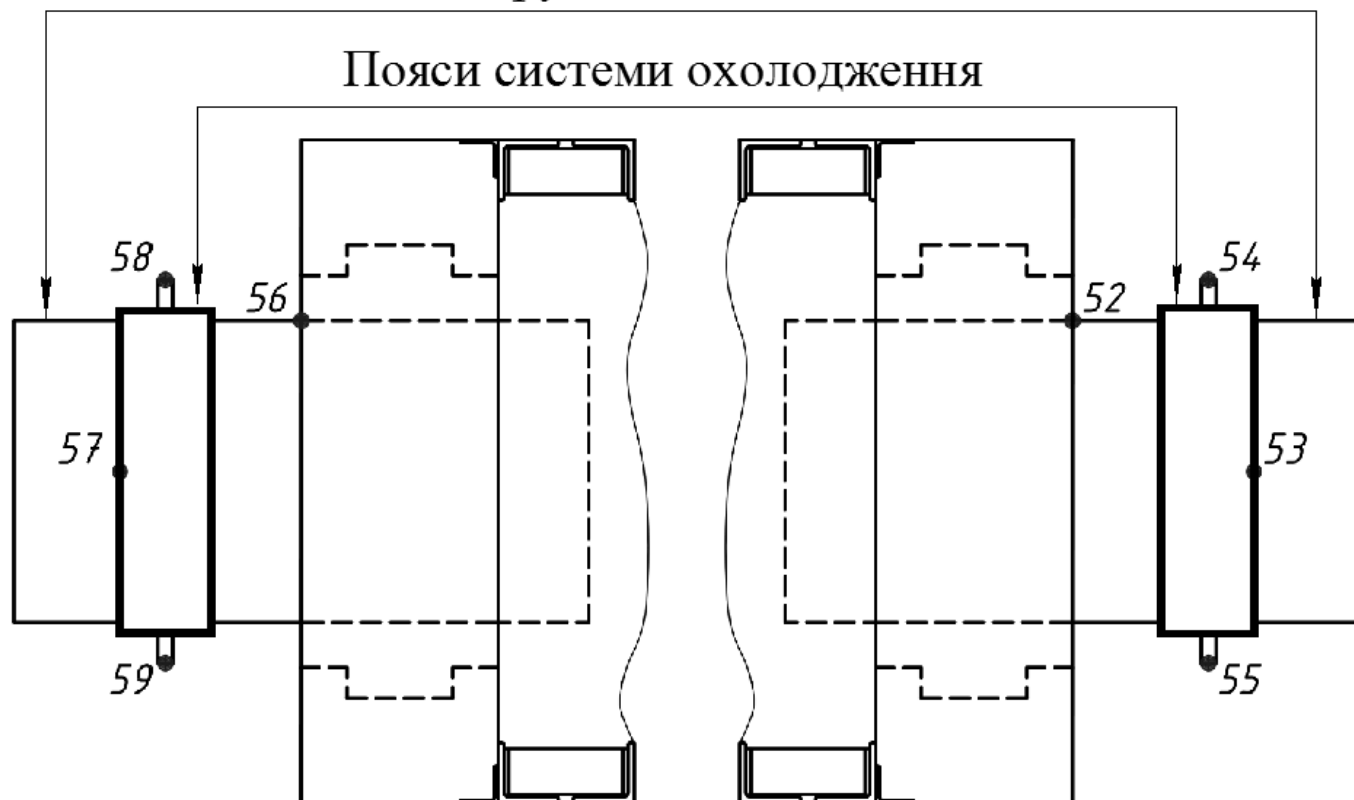
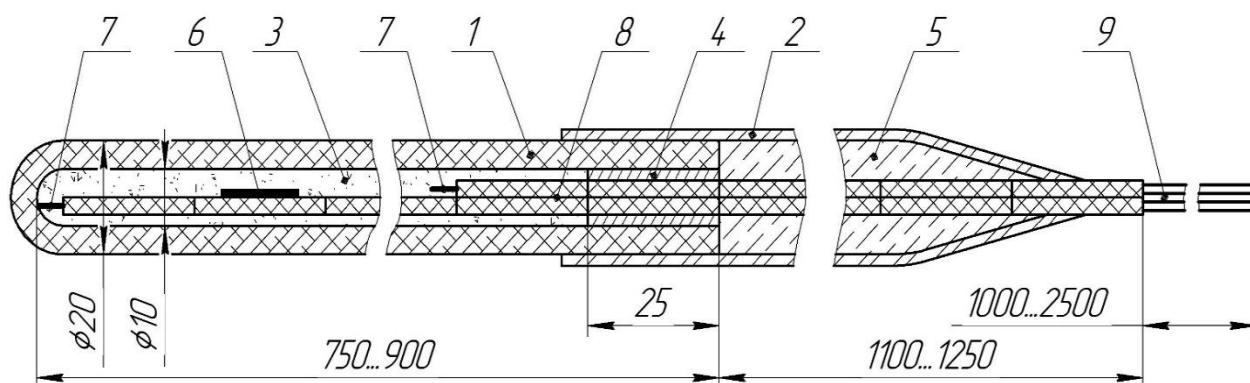
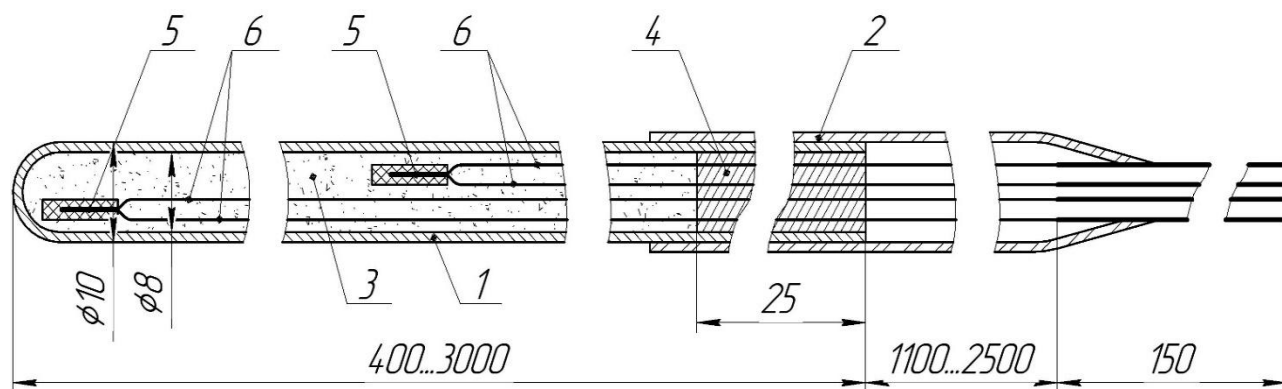


Рисунок 2.11 – Розміщення термопар на поверхні струмопідводів та в струменях охолодної води на вході та виході з поясів системи охолодження



1 – керамічний чохол МКРЦ; 2 – рукав із мулітокремнеземистої тканини; 3 – оксид магнію; 4 – пробка з оксиду магнію і високотемпературного клею;
5 – високотемпературна вата; 6 – папір; 7 – гарячі спай; 8 – двоканальна алундова соломка; 9 – зовнішні кінці термопар у фторопластовій ізоляції

Рисунок 2.12 – Конструкція вольфрам-ренієвого термозонда на дві термопари



1 – чохол з нержавіючої сталі; 2 – рукав з кремнеорганічної гуми; 3 – оксид магнію; 4 – пробка з оксиду магнію та високотемпературного клею; 5 – гарячі спаї в алундовій одноканальній соломці; 6 – електроди термопар, електроізолювані мулітокремнеземистим сплетінням; 7 – зовнішні кінці термопар у фторопластовій ізоляції

Рисунок 2.13 – Конструкція хромель-алюмелевого термозонда на дві термопари

Контроль та збір даних від термодатчиків проводили на базі вимірювального комплексу із застосуванням модулів збору даних ICP CON I-7018 виробництва компанії ICP_DAS [24]. Дискретність запитів даних модулів збору даних становить 10 Гц. Модулі зв'язуються у вимірювальну мережу за допомогою двопровідного напівдуплексного багатоточкового послідовного інтерфейсу RS-485. Для зв'язку модулів збору даних з ПК вимірювального комплексу використовується модуль перетворення інтерфейсів RS-485↔RS-232 – I-7520 (ICP_DAS). Запит та обробка даних виконується за допомогою встановленого на ПК програмного забезпечення, розробленого фахівцями НДЦ «РТ» КПІ ім. Ігоря Сікорського [24] і дає змогу виконувати:

- формування та тестування мережі модулів збору даних;
- вибір частоти опитування модулів (до 10 Гц);
- вибір типу датчика (ТХА, ТВР, ППР, ПР, напруга, сила струму);
- збереження даних на зовнішньому або внутрішньому носії інформації з можливістю задавання частоти збереження;
- відображення даних на екрані в числовому та графічному вигляді, в режимі реального часу.

2.2.2 Аналіз результатів експериментальних досліджень

Аналіз отриманих результатів фізичного експерименту показав, що в центральному перерізі заготовок, розташованих посередині печі, найбільш нагрітими є центральна її частина та частина заготовки, що повернута до сусіднього ряду (рисунки 2.14, 2.15).

Починаючи з $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ темп зростання температури зовнішньої поверхні заготовок (за винятком сторін, обернених до сусіднього ряду, тобто сторін, що контактують з великим об'ємом теплоізоляції) знизився, що ймовірно пов'язано з інтенсивним відбором теплоти на випаровування води та газифікацію вуглецевого матеріалу. Після досягнення рівня ПВЕ $900\text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{т}$ темп зростання температури зовнішньої поверхні заготовок відновлюється, що ймовірно пов'язано із закінченням процесу газифікації.

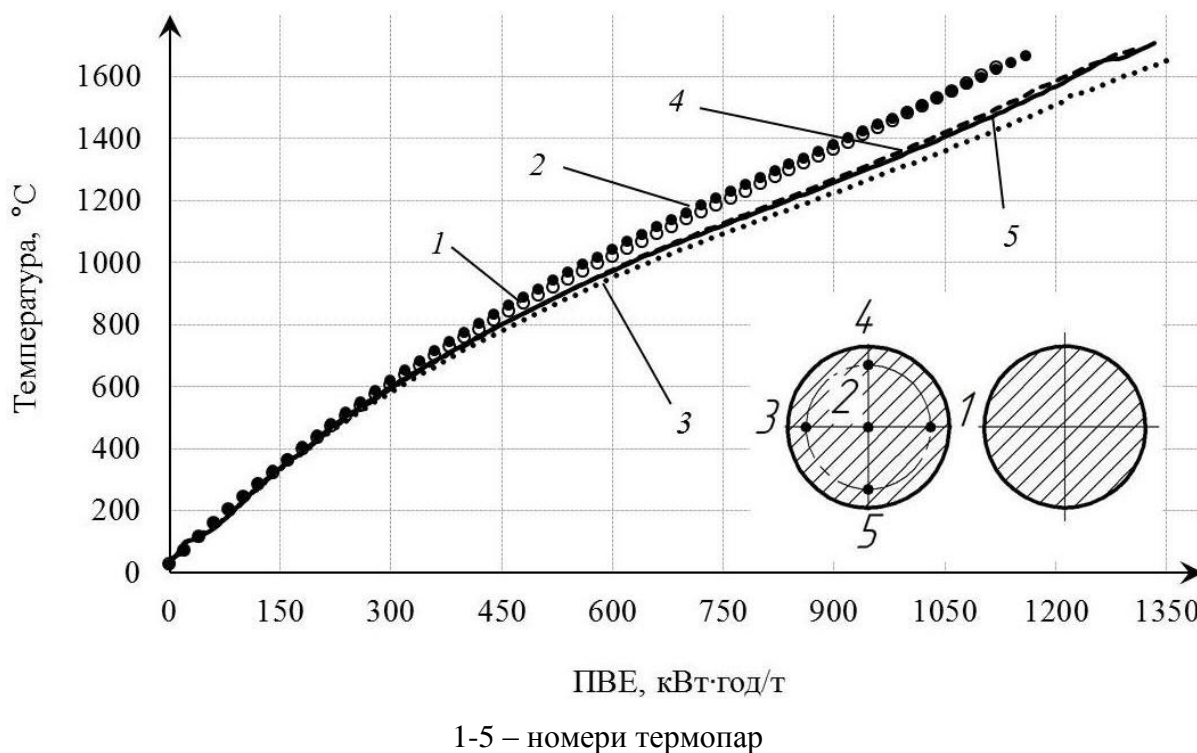


Рисунок 2.14 - Розподіл температури у поперечному перерізі центральної частини лівого ряду заготовок (див. рисунок 2.6)

В торці центральної заготовки лівого ряду найбільш нагрітою є її частина, що обернена до сусіднього ряду, а найменш нагрітою до початку зменшення темпу зростання температури – центральна частина (рисунок 2.16). Такий розподіл температури є наслідком застосування кільцевої (з внутрішнім отвором) електроконтактної прокладки та використанням схеми завантаження заготовок у два ряди.

Максимальне значення дослідженого перепаду температури по перерізу заготовок не перевищує $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рисунки 2.14-2.16), а по їх довжині в центральній частині ряду (від $\frac{1}{4}$ до $\frac{3}{4}$ довжини ряду) не перевищує $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рисунок 2.17).

На рисунках 2.18, 2.19 зображено розподіл температури на поверхні подини та в теплоізоляції біля внутрішньої поверхні бокових стінок дослідної печі на кінцевому етапі її охолодження. Згідно цих даних відбувається перегрів внутрішньої поверхні бокових вертикальних залізобетонних колон печі (понад $800\text{ }^{\circ}\text{C}$) та бетонної подини (більше $340\text{ }^{\circ}\text{C}$). Отримання

високих значень температури подини печі пов'язане з низьким розташуванням електродних свічок, а також з неінтенсивним відведенням теплоти в бетонний фундамент печі, який нагрівався додатково гарячим оборотним коксовим дріб'язком, що вивантажувався поблизу дослідної печі Кастнера.

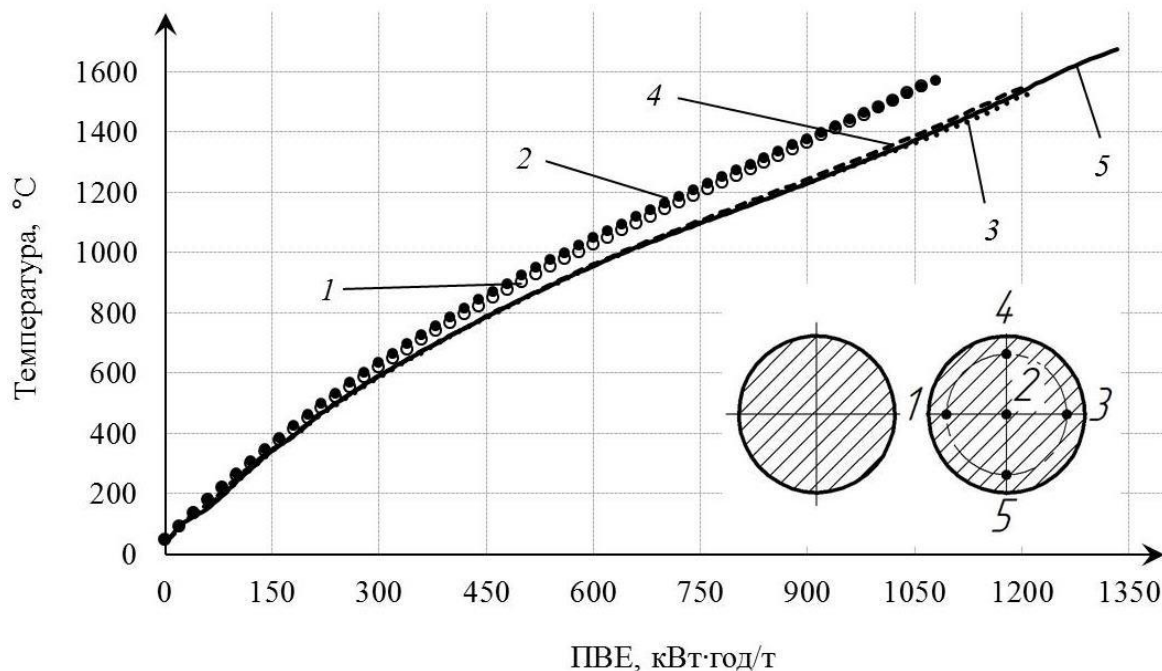


Рисунок 2.15 – Розподіл температури у поперечному перерізі центральної частини правого ряду (див. рисунок 2.6)

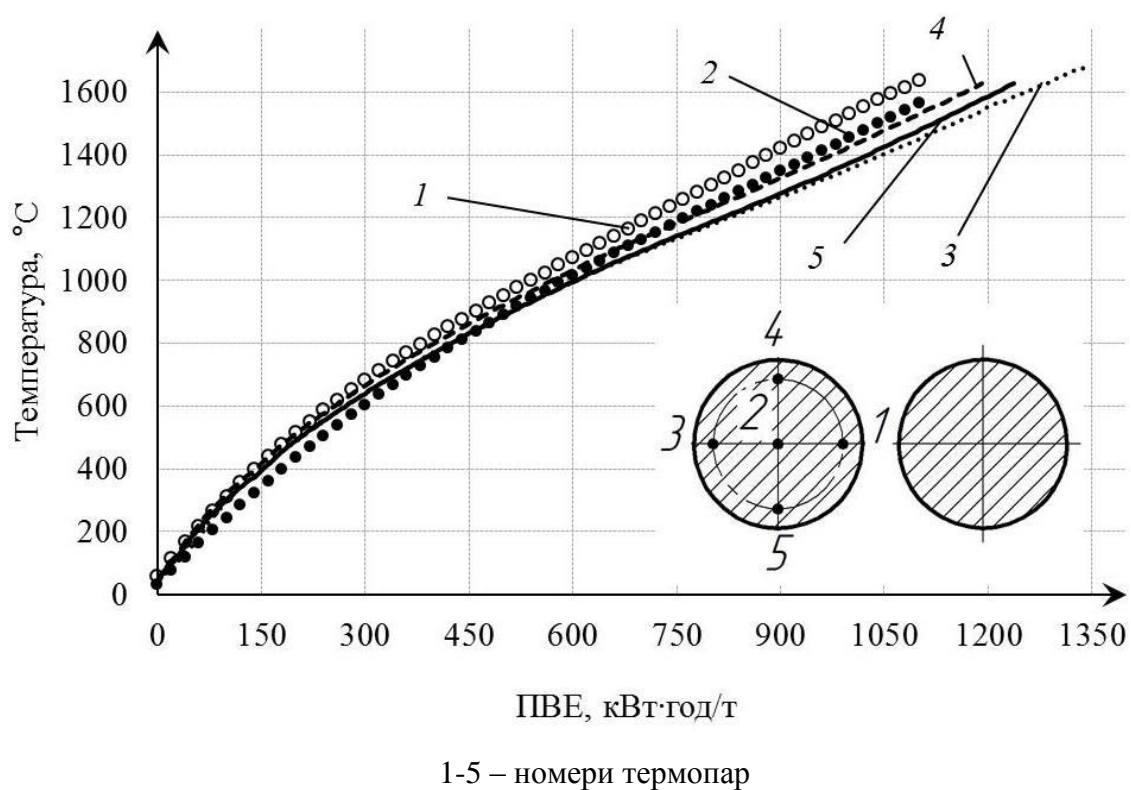
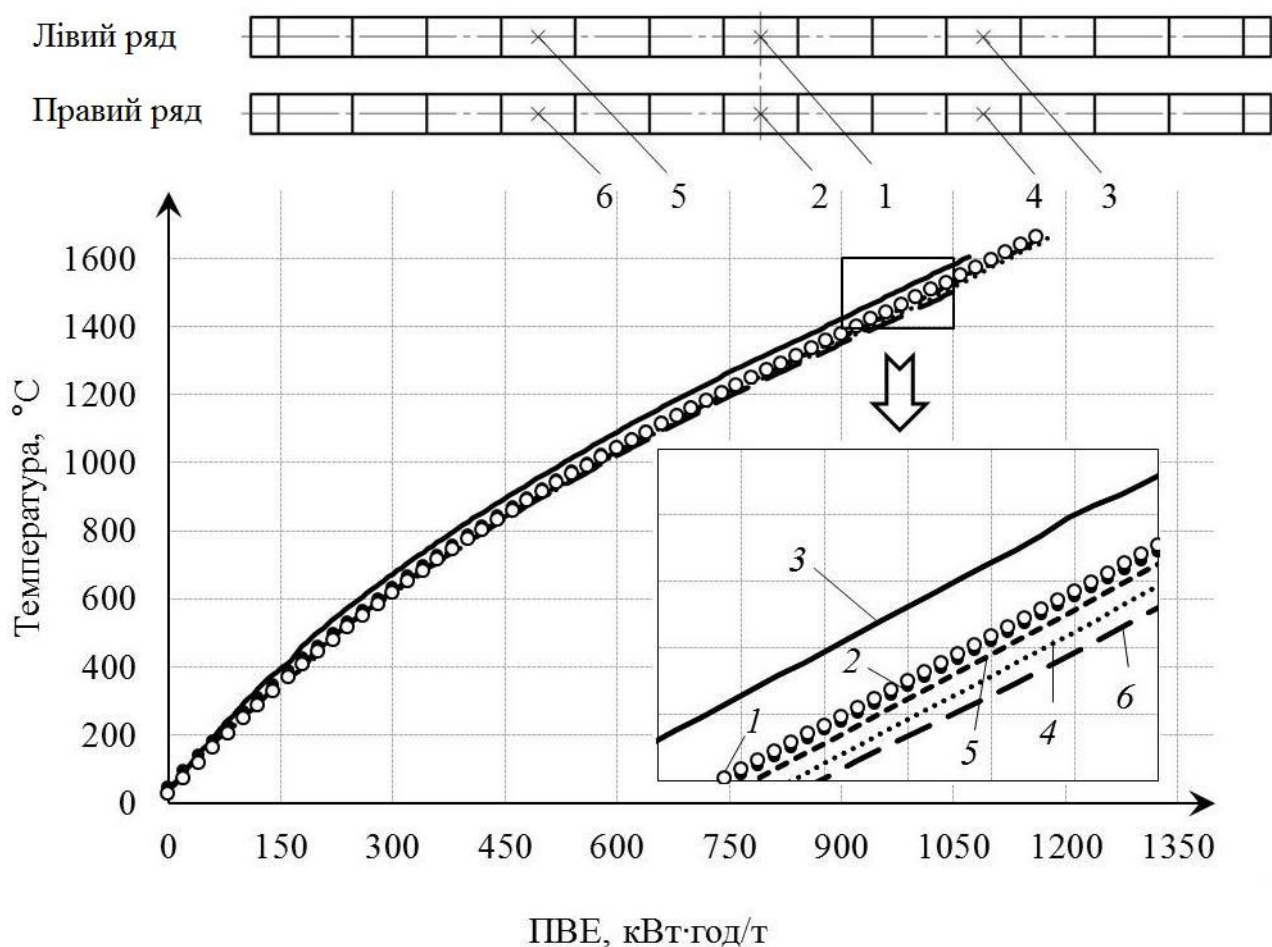


Рисунок 2.16 - Розподіл температури у поперечному перерізі торця середньої заготовки лівого ряду (див. рисунок 2.6)



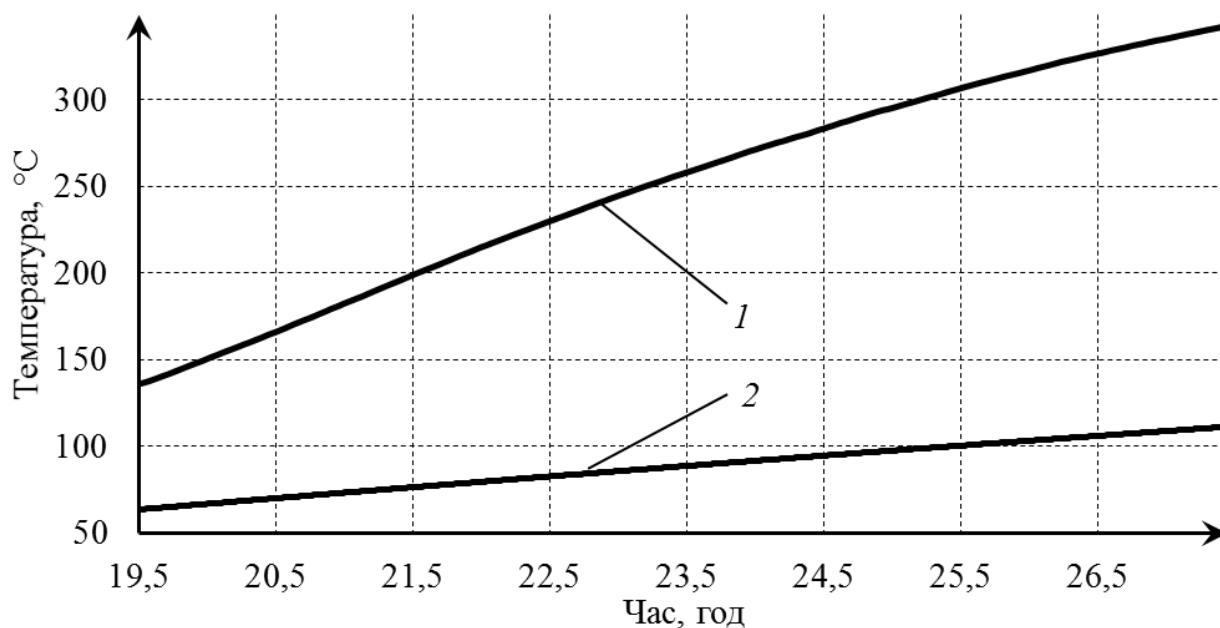
1-6 – номери розміщення термопар

Рисунок 2.17 - Розподіл температури в центральній частині електродних заготовок (див. рисунки 2.6, 2.8, 2.10)

Аналіз отриманих результатів охолодження струмопідводів показав, що інтенсивність відведення теплоти охолоджувальним поясом збільшується після досягнення рівня ПВЕ на кампанії графітування 1300 кВт·год/т (рисунок 2.20).

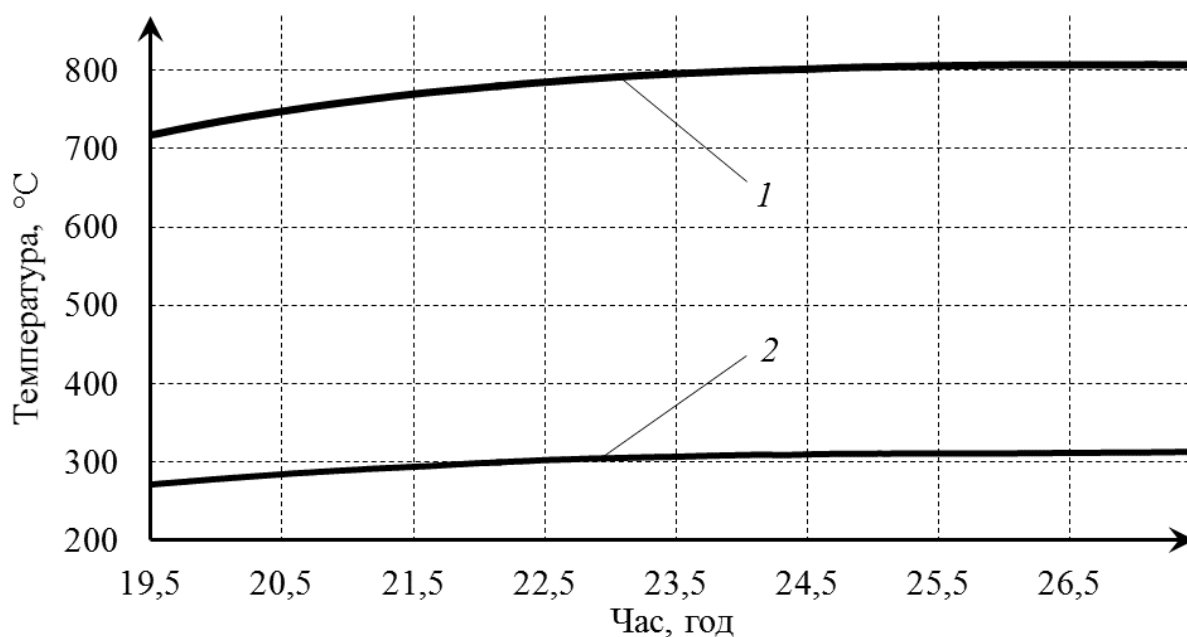
На основі наявних даних розраховано ефективні значення коефіцієнта тепловіддачі від поверхні графітового струмопідводу в пояс системи охолодження залежно від температури струмопідводу, результати яких наведено на рисунку 2.21.

Встановлено, що ефективний коефіцієнт тепловіддачі до досягнення рівня температури поверхні струмопідводу 140 °C становить 190 Вт/(м²·K), а понад 140 °C – близько 350 Вт/(м²·K). Підвищення ефективного коефіцієнта тепловіддачі у діапазоні температур вищих за 140 °C можна пояснити різким зменшенням термічного контактного опору між металевим поясом системи охолодження і графітовим струмовідводом за рахунок температурного розширення останнього



1 – центральна частина печі; 2 – бічна частина печі

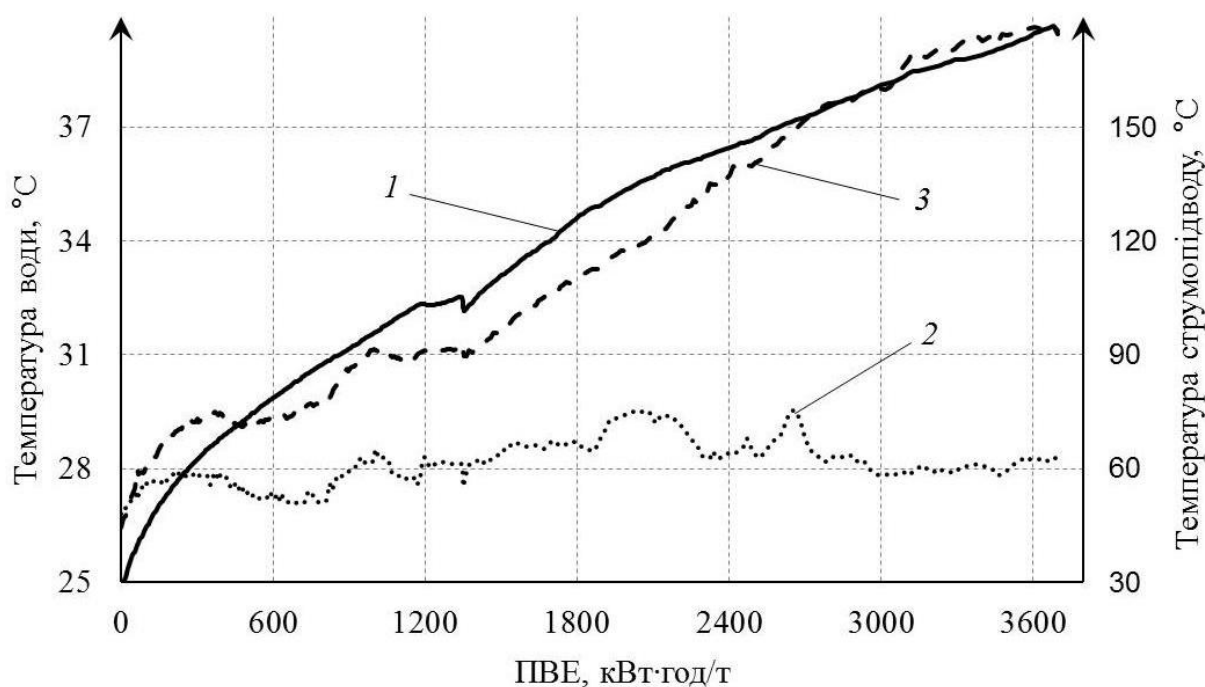
Рисунок 2.18 - Розподіл температури на поверхні подини дослідної печі під час її охолодження (див. рисунки 2.6, 2.7)



1 – центральна частина печі; 2 – бічна частина печі

Рисунок 2.19 - Розподіл температури в теплоізоляції біля внутрішньої поверхні бокових стінок дослідної печі під час її охолодження (див. рисунки 2.6, 2.7)

Для узагальненої оцінки нагрівання зовнішніх поверхонь конструктивних елементів печі графітування Кастнера за допомогою тепловізора зроблені термограми (заявлена точність вимірювання приладу $\pm 2\%$), які зображені на рисунку 2.21.



1 – температура на поверхні струмовідводу; 2 – температура води на вході в охолоджувальний пояс; 3 – температура води на виході з охолоджувального поясу

Рисунок 2.20 - Розподіл температури на поверхні струмовідводу під охолоджувальним поясом та температура охолодної води (див. рисунок 2.12)

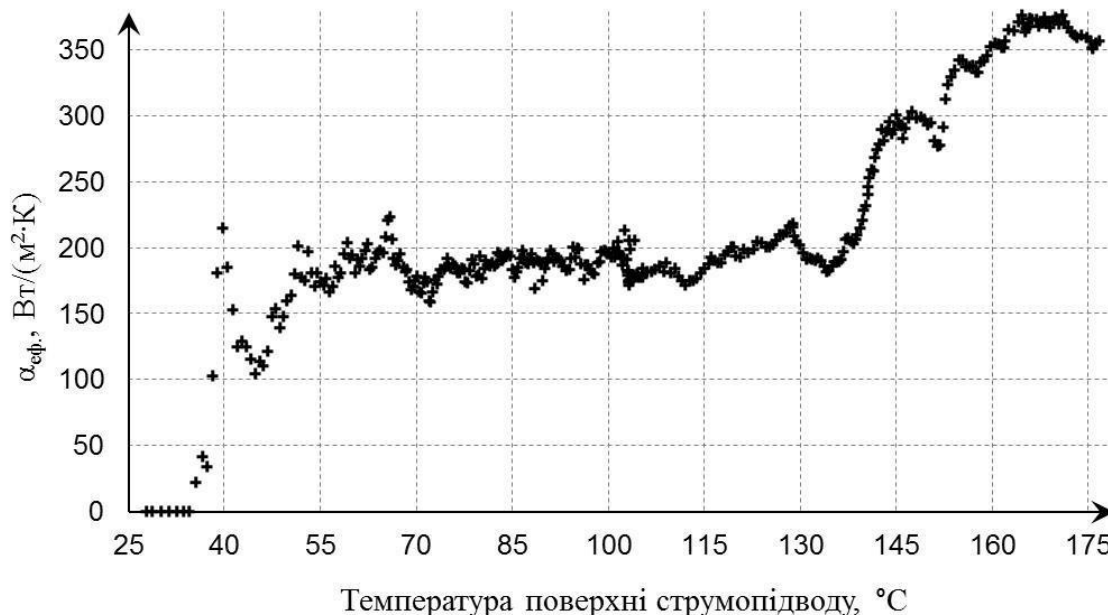


Рисунок 2.21 - Ефективний коефіцієнт тепловіддачі від поверхні графітового струмопідводу в пояс системи охолодження

Отримані електричні параметри печі (сила струму, напруга, активна потужність) зображені на рисунку 2.22.

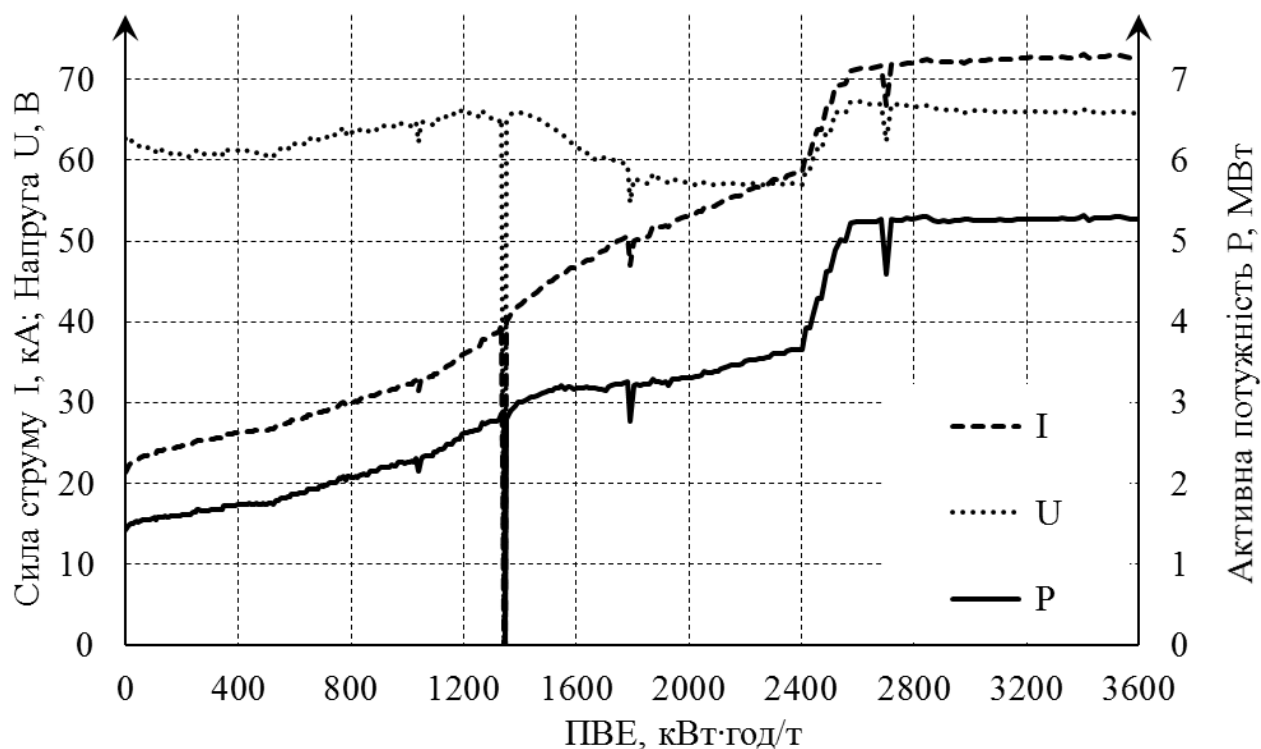


Рисунок 2.22 - Електричні параметри печі Кастнера впродовж кампанії графітування електродних заготовок

2.3 Енергетичні баланси печей Кастнера

Були проведені дослідження температурно - теплового та технологічного режимів 3-х кампаній на одній з печей при графітації електродів діаметрами 435, 535 і 485 мм. У процесі досліджень експериментально визначали температури в заготовках і теплоізоляції, на поверхнях зовнішніх стінок печі, масові витрати і температури води, яка охолоджує струмопідводи, кількість електроенергії, що підводиться та ін. параметри.

У підрозділі узагальнені і проаналізовані показники енергетичної ефективності досліджених кампаній, до яких віднесено:

- питома витрата електроенергії, що підводиться e , кВт·год/т продукції;
- частка акумульованої заготовками теплоти $q_{ак}$.

Питому витрату електроенергії (див. таблицю 2.1) визначали за співвідношенням

$$e = \frac{Q_{заг}}{M_3}, \quad (2.1)$$

де $Q_{заг}$ - загальна кількість підведеної електроенергії за всю кампанію печі, кВт·год;

M_3 - маса завантажених заготовок, т.

Крім відомостей, наведених в таблиці 2.1, досліджені кампанії відрізнялися діаметром електродів і графіком підведення потужності. Так в першій кампанії здійснювали графітацію електродів діаметром 435мм, в другій – діаметром 485мм, а в третій – 535мм. У першій кампанії, наприклад, підведення потужності здійснювали за типовим регламентом (початкова потужність - 1900кВт × год, протягом 2,5 год по 200 кВт × год до 2400 кВт × год, протягом 3 ч по 366 кВт × год до 3500 кВт × год, протягом 2 ч по 600 кВт × год до 4700 кВт × год, протягом 2 ч по 100 кВт × год до 4900 кВт × год, без обмеження до максимуму).

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку величини ϵ

Характеристика заготовки	τ , год	$Q_{\text{заг}}$, кВт · год	M_3 , т	ϵ , $\frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{т продукції}}$
ЭГ400 (Ø435)	15,7	35169,12	10,08	3489
ЭГСП450 (Ø485)	15,5	38901,5	12,1	3215
ЭГ500 (Ø535)	16,5	50418,9	15,9	3171

Частку акумульованої заготовками теплоти (відносні корисні витрати підведеної електричної енергії) визначали з співвідношення

$$q_{\text{ак}} = \frac{Q_{\text{ак}}}{Q_{\text{підв}}}, \quad (2.2)$$

де $Q_{\text{ак}}$ - кількість теплоти, яка закумульована заготовками за відповідний період часу з початку підводу потужності, кДж;

$Q_{\text{підв}}$ - кількість підведеної теплоти при нагріві заготовок для того ж періоду часу, кДж.

Кількість акумульованої заготовками теплоти, кДж:

$$Q_{\text{ак}} = M_3 c (t_r - t_0), \quad (2.3)$$

де M_3 - маса заготовок, кг;

c - питома масова теплоємність, кДж / (кг · К) ;

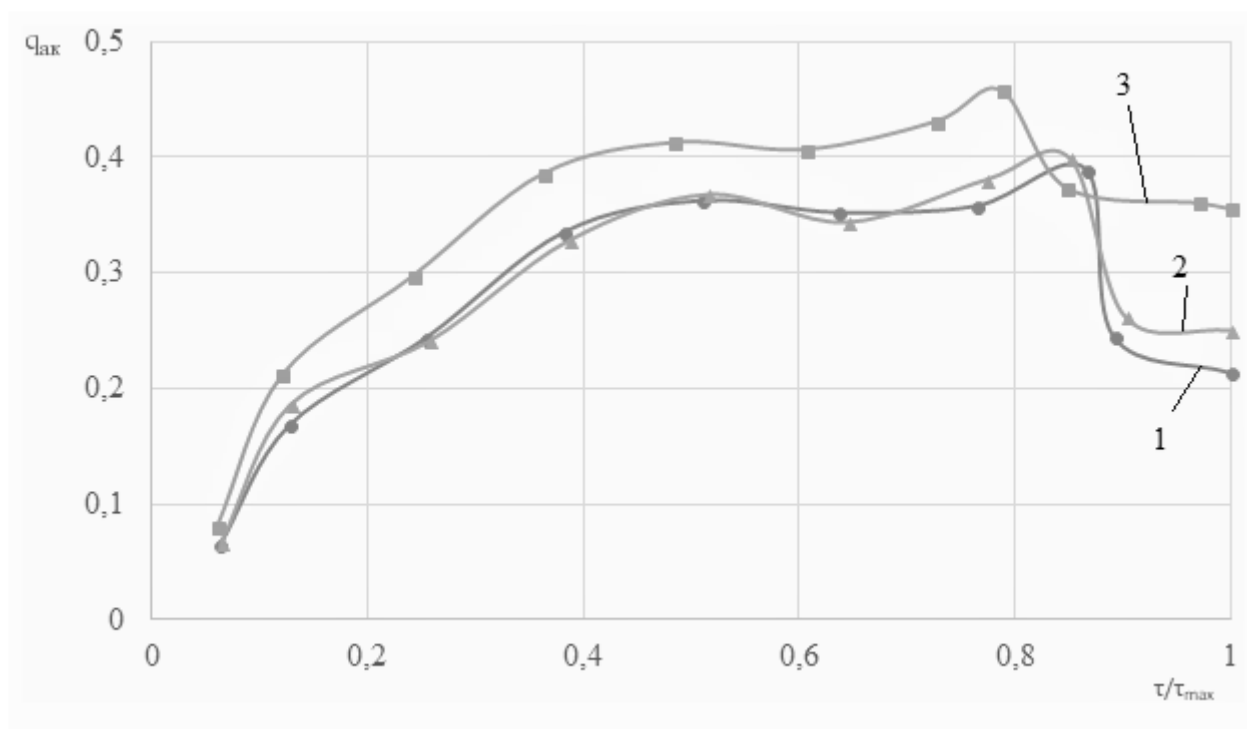
t_r, t_0 - середня поточна і початкова температури заготовок відповідно, °С .

Кількість підведеної теплоти, кДж:

$$Q_{\text{підв}} = 3600 \cdot P_r, \quad (2.4)$$

де P_r - кількість підведеної електроенергії, кВт.

Розраховані за формулою (2.2) величини $q_{ак}$ при використанні формул (2.3) і (2.4) для визначення величин $q_{ак}$ і $q_{підв}$, з урахуванням маси заготовок (таблиця 2.1), експериментальних значень середніх температур заготовок t_r і кількості електроенергії, що підводиться P_r , літературних значень питомої масової теплоємності c для обраних проміжків часу 3-х кампаній графітації електродів в прямій печі постійного струму представлені на рисунку 2.23 у вигляді залежності $q_{ак} = f\left(\frac{\tau}{\tau_{max}}\right)$ де τ - поточний час, год; τ_{max} - максимальний час, що характеризує підведення потужності для відповідної кампанії, год. Так як експериментальні дослідження на всіх кампаніях проводили в осінньо-весняний період року при практично однакових температурах завантаження, то величина t_0 , що входить в формулу (2.3) при розрахунку $q_{ак}$ не враховувалася.



1 – заготовка ЕГ400; 2 – заготовка ЕГСП450; 3 - заготовка ЕГ500

Рисунок 2.23 – Залежність частки акумульованої керном теплоти $q_{ак}$ від відносного часу $\frac{\tau}{\tau_{max}}$

Аналіз представлених даних показує, що у всіх кампаніях при нагріванні електродів можна виділити три характерні області:

I. Враховуючи, що вологість теплоізоляційної шихти лише 5% видно, що витрати енергії на видалення вологи з шихти є незначними, тому відбувається постійне зростання

величини $q_{ак}$ до значень 0,38 ... 0,45. Максимальні значення частки акумульованої теплоти характерні в деяких кампаніях для максимальних досягнутих температур, або для максимальних значень потужності, що підводиться;

II. Етап характеризується зниженням величини $q_{ак}$ до 0,24 ... 0,37 на кінець кампанії. На цьому етапі енергія, що підводиться в основному витрачається на компенсацію втрат в навколишнє середовище.

Якщо із загальної кількості підведеної енергії, прийнятої за відносну одиницю, відняти частку акумульованої заготовками теплоти, то отримаємо відносну величину втрат теплоти, тобто $q_{втр} = 1 - q_{ак}$.

Основними складовими втрат теплоти в печах графітації є:

- нагрів бічної і верхньої частин теплоізоляційної шихти;
- витрати теплоти на випаровування вологи з теплоізоляційної шихти;
- нагрів подини, бічних і торцевих стін;
- втрати теплоти з газами;
- втрати теплоти з зовнішніх поверхонь огорожень в навколишнє середовище.

Розподіл втрат теплоти по окремих статтях проведемо на прикладі першої кампанії дослідженої печі, в процесі експериментальних досліджень на якій вимірювали всі необхідні величини, а теплофізичні властивості матеріалів визначали за літературними даними при середніх температурах на момент відключення печі.

Розрахунок

1 Кількість теплоти, що витрачається на нагрів теплоізоляційної шихти, кДж

$$Q_{нш} = m_{ш} \left(1 - \frac{W_{ш}}{100} \right) c_{ш} (t_{шн} - t_{шк}) . \quad (2.5)$$

2 Кількість теплоти, яка акумульована конструкційними матеріалами, кДж

$$Q_{акі} = m_{кі} c_{кі} t_{кі} . \quad (2.6)$$

3 Кількість теплоти, яка витрачається на випаровування вологи з матеріалу теплоізоляційної шихти, кДж

$$Q_{випш} = \frac{W_{ш}}{100} m_{ш} [t_s - t_{шн} c_v + r] , \quad (2.7)$$

де t_s - температура насичення при тиску $P=0,1$ МПа (приймаємо 100°C);

c_v - теплоємність води, приймаємо рівною $4,19 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot \text{К})$;

r - теплота фазового переходу при $P=0,1 \text{ МПа}$, яка дорівнює $2256,8 \text{ кДж/кг}$.

Вихідні дані до розрахунку величин $Q_n, Q_{ак}, Q_{вип}$ наведені в таблиці 2.2.

4 Втрати теплоти від внутрішньої поверхні стін печі до повітря, яке протікає, кДж:

$$Q_{пов} = 3,6 \sum \alpha F (t_{ст} - t_{пов}) \tau, \quad (2.8)$$

де α - коефіцієнт тепловіддачі від поверхні стінки печі до оточуючого повітря,

$\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

F - поверхня теплообміну, м^2 ;

$t_{ст}$ - температура поверхні стінки, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{пов}$ - температура повітря, що протікає, $^{\circ}\text{C}$;

τ - час від початку підводу потужності, год.

Таблиця 2.2 – Вихідні дані до розрахунку

Назва величини	Позначення	Одиниця	Значення величини
Маса теплоізоляційної шихти	$m_{ш}$	кг	10000
Початкова вологість матеріалу шихти	$w_{ш}$	%	5
Початкова температура шихти	$t_{шп}$	$^{\circ}\text{C}$	9
Середня кінцева температура шихти	$t_{шк}$	$^{\circ}\text{C}$	1200
Теплоємність матеріалу шихти	$c_{ш}$	$\text{кДж} / (\text{кг} \cdot \text{К})$	1,13
Маса графітових компенсаційних вставок	$m_{вст}$	кг	2764
Теплоємність матеріалу вставок	$c_{вст}$	$\text{кДж} / (\text{кг} \cdot \text{К})$	2,176
Середня кінцева температура вставок	$t_{встк}$	$^{\circ}\text{C}$	2500
(Маса / температура) шамотної футеровки зовнішніх бічних стін	$m_{ф} / t_{ф}$	кг/ $^{\circ}\text{C}$	34900/50 3800/170

торцевих стін кладка подини			21900/700
Теплоємність шамотної футеровки	c_{ϕ}	кДж / (кг · К)	0,88
(Маса / температура) графітових блоків рухомого струмопідводу нерухомого струмопідводу	$m_{гр} / t_{гр}$	кг/ °С	1200/150 1200/180
Теплоємність графітових блоків	$c_{гр}$	кДж / (кг · К)	1,087

За конструктивним даними для прямої печі величина $F = 38 \text{ м}^2$, коефіцієнт тепловіддачі при швидкостях руху повітря 2 ... 4 м / с (на підставі практичних вимірювань) по оціночним розрахунками дорівнює $15,6 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$, а температура поверхні стінки (при прийнятій величині $t_{пов} = 0 \text{ °С}$) визначається з експериментальних даних.

5 Втрати теплоти з газами, що виходять, кДж

$$Q_{вг} = \sum G_{вг} h_{вг} \tau, \quad (2.9)$$

де $G_{вг}$ - масова витрата газів, що виходять, кг/с;

$h_{вг}$ - ентальпія газів, що виходять при їх відповідній температурі, кДж/кг.

$$G_{вг} = v F \rho, \quad (2.10)$$

де v - швидкість, м/с;

F - площа поверхні для проходження газів через верх печі, м^2 ;

ρ - густина газів, що виходять, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Оціночна величина $v = 0,15 \text{ м/с}$; з конструктивних розмірів верху печі, а також з урахуванням змінної площі для видалення газів внаслідок нестационарного температурного режиму, усереднене значення $F = 7,85 \text{ м}^2$.

Результати розрахунків величин, які входять до формул (2.9), (2.10) і поточних значень $Q_{вгi}$ для прийнятого часу газовиділення 0 ... 8 год наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Поточне значення тепловтрат з газами, що виходять

τ , год	$h_{вг}$, кДж/кг	ρ , $\text{кг}/\text{м}^3$	$G_{вг}$, кг/с	$Q_{вгi} \cdot 10^{-7}$, кДж
0	145,6	0,8	0,942	0

4	162,4	0,78	0,918	0,215
4	179,2	0,76	0,883	0,228

6 Втрати теплоти з водою, що охолоджує струмопідвідні електроди, кДж

$$Q_{\text{в}} = 3600 G_{\text{в}} c_{\text{в}} (t_2 - t_1) \tau, \quad (2.11)$$

де $G_{\text{в}}$ - витрата води на охолодження струмопідводів, кг/с;

$c_{\text{в}}$ - питома масова теплоємність води, кДж / (кг · К) ;

t_2 і t_1 - кінцева і початкова температури води відповідно, °С.

Для охолодження струмопідводів використовується по 3 потоки води з кожного торця.

Експериментальні вимірювання проводили протягом всієї кампанії через кожні 3 год для одного з потоків, отримавши при обробці даних наступні усереднені значення: $G_{\text{в}1} = 0,112$ кг/с; $t_2 = 85^\circ\text{C}$; $t_1 = 8^\circ\text{C}$, приймаємо $c_{\text{в}} = 4,187$ кДж/(кг · К) .

Результати розрахунків втрат теплоти, що підводиться до печі графітації представлені в таблиці 2.4.

Аналіз представлених в таблиці 2.4 даних показує, що найбільш суттєвими втратами теплоти являються її затрати на нагрів конструкційних матеріалів печі (44,85%), теплоізоляційної шихти (33,72%) та втрати з газами, що виходять з печі (11,68%).

Таблиця 2.4 – Результати розрахунків втрат теплоти при графітації електродів

Джерела втрат теплоти	$Q_i \cdot 10^{-7}$, кДж	%
Нагрів теплоізоляційної шихти	1,279	33,72
Акумуляована теплота конструкційними елементами, в тому числі: шамотною футеровкою	1,701	44,85
компенсаційними вставками	0,154	
	1,504	

графітовими струмопідводами	0,043	
Випаровування вологи з теплоізоляційної шихти	0,13	3,43
До повітря, що протікає	0,047	1,24
З газами, що виходять з печі	0,443	11,68
З охолоджуючою водою	0,193	5,09
Всього	3,793	100

2.4 Експрес-методика визначення середньомасової температури печі графітування

Визначальним параметром, що характеризує закінчення процесу графітування, є рівень досягнутих температур, достовірні вимірювання яких в реальних умовах пов'язані з суттєвими технічними складнощами. На практиці управління процесом графітації здійснюють за наперед заданими витратами енергії, тобто без зворотного зв'язку. Тому актуальним завданням є розробка непрямих методів оцінки теплового стану печей і впровадження на їх основі системи автоматичного управління процесами графітування, що дозволить зменшити енергоємність цих процесів.

2.4.1 Постановка проблеми та аналіз попередніх досліджень

Аналіз досліджень температурно-теплового стану графітувальних печей показав, що найкращі результати можуть бути отримані методами математичного моделювання, зокрема, для печей Ачесона в цьому напрямку можна виділити роботи [23,24]. Але слід зазначити, що методи математичного моделювання потребують значних матеріальних та часових витрат, і їх практично неможливо використати обслуговуючим персоналом в режимах реального часу для оперативної діагностики температурного стану печі.

Автори роботи [25] для П – подібних печей Ачесона постійного струму при графітуванні заготовок великого діаметру запропонували визначати середньооб'ємну температуру ядра за отриманою ними залежністю безрозмірної температури від числа Фур'є. Для практичного користування отриманим рівнянням необхідно знати геометричні розміри ядра в поперечному і повздовжньому перерізах печі, температурні залежності теплофізичних властивостей вуглеграфітових виробів та поточні значення підведеної електроенергії.

Найбільш вагомим дослідженням з оперативного визначення середньомасової температури ядра печей Ачесона в режимі реального часу є робота [26], в якій враховані

втрати електричної енергії до входу в піч, на прямий нагрів теплоізоляції, на нагрів та випаровування води і на хімічні реакції газифікації керованої пересипки.

Метою дослідження є розробка методики оперативного визначення у реальному часі температури вуглеграфітових заготовок при графітуванні за технологією Кастнера.

2.4.2 Методика визначення середньомасової температури заготовок в печах Кастнера

В основу методики, що розробляється, покладена ідея встановлення залежностей температури вугільних заготовок, за аналогією з викладками роботи [26] для графітувальних печей Ачесона, від часу з початку кампанії; масових та геометричних характеристик завантаження печі; вологості теплоізоляції; електричних характеристик, а саме, активної потужності, вторинної напруги, сили струму, коефіцієнта потужності, і т. ін.

Підведена від джерела живлення електрична енергія за винятком втрат в самому джерелі (пічному трансформаторі) та ошиновці (між трансформатором і піччю) корисно витрачається на нагрівання вугільних заготовок, а решту можна вважати втратами: на нагрівання теплоізоляції, нагрівання і випаровування води з неї; на реакцію газифікації; втрати з поверхні заготовок через шар теплоізоляції в навколишнє середовище.

Визначити середньомасову температуру заготовок для будь-якого проміжку часу з початку кампанії (T_{τ}) можна з рівняння енергетичного балансу, яке для печі Кастнера має наступний вигляд:

$$Q_{\text{підв}} = Q_z + Q_v + Q_{\text{пов}} + Q_r, \quad (2.12)$$

де $Q_{\text{підв}}$ – кількість електричної енергії, яка підведена до графітувальної печі, Дж;

Q_z – витрата енергії на нагрівання заготовок, Дж;

Q_v – паразитні витрати енергії на прямий нагрів теплоізоляції, компенсаційної вставки та струмопідвода, Дж;

$Q_{\text{пов}}$ – втрати енергії з поверхні заготовок в навколишнє середовище, Дж;

Q_r – витрата енергії на ендотермічну реакцію газифікації, Дж.

Кількість підведеної до графітувальної печі електричної енергії, Дж

$$Q_{\text{підв}} = Q_A - Q_{\text{втр.А}}, \quad (2.13)$$

де Q_A – кількість активної електричної енергії на високій стороні трансформатора, Дж;

$Q_{\text{втр.А}}$ – втрати активної енергії до входу в піч, Дж.

Величина Q_A визначається за технологічними даними процесу графітування (контролюється обслуговуючим персоналом для кожної кампанії і відображається у відомості автоматизованої системи управління - АСУ).

Втрати активної енергії до входу в піч, Дж

$$Q_{\text{втр.А}} = \int_0^{\tau} P_{\text{втр.А}} d\tau = \int_0^{\tau} [P_{\text{ж}} + I_{\text{п}}^2 R_{\text{ош}}] d\tau, \quad (2.14)$$

де τ - час з початку кампанії графітування відповідної печі, с;

$P_{\text{втр.А}}$ – потужність втрат активної енергії до входу в піч, Вт;

$P_{\text{ж}}$ – потужність втрат активної енергії в агрегатах живильної установки (трансформатори, випрямлювачі та супутнє обладнання), Вт;

$I_{\text{п}}$ – сила струму пічного ланцюга, А;

$R_{\text{ош}}$ – активний опір, що еквівалентний втратам електричної енергії в ошиновці, Ом.

Потужність втрат активної енергії в агрегатах живильної установки визначається за співвідношенням

$$P_{\text{ж}} = P_{\text{А}} - U \cdot I_{\text{п}}, \quad (2.15)$$

де $P_{\text{А}}$ – активна потужність на високій стороні пічного трансформатора, Вт;

U – напруга пічного ланцюга на виході з випрямлювача, В.

Потужність пічного трансформатора ($P_{\text{А}}$), силу струму ($I_{\text{п}}$) та напругу (U) пічного ланцюга для будь-якого проміжка часу з початку кампанії графітування (τ) визначають за технологічними даними АСУ, а активний опір, що еквівалентний втратам електричної енергії в ошиновці ($R_{\text{ош}}$) – за формулою (2.16), яка узагальнює серію натурних досліджень з вимірювання падіння напруги на печах Кастнера

$$R_{\text{ош}}(\tau) = 0,0628276 + 2,31 \cdot 10^{-7} \cdot I_{\text{п}} / n_{\text{т}}, \quad (2.16)$$

де $n_{\text{т}}$ – кількість паралельно встановлених працюючих пічних трансформаторів.

Корисні витрати енергії на нагрівання заготовок для будь-якого часу τ з початку кампанії, Дж, визначаються з рівняння теплового балансу:

$$Q_{\text{з}} = m_{\text{з}} \cdot [h_{\text{с}}(T_{\text{т}}) - h_{\text{с}} \cdot T_0], \quad (2.17)$$

де $m_{\text{з}}$ – маса заготовок, кг;

$h_{\text{с}}$ – масова питома ентальпія заготовок, Дж/кг;

T_τ - поточна середньомасова температура заготовок, К;

T_0 - початкова середньомасова температура заготовок, К (зазвичай дорівнює температурі навколишнього середовища).

Температурна залежність масової питомої ентальпії вуглеграфітових заготовок, Дж/кг, має вигляд [1]:

$$h_c(T) = 1,68 \cdot 10^4 - 2,16 \cdot 10^2 \cdot T + 3,14 \cdot T^2 - 3,22 \cdot 10^{-3} \cdot T^3 + 1,87 \cdot 10^{-6} \cdot T^4 - 5,30 \cdot 10^{-10} \cdot T^5 + 5,78 \cdot 10^{-14} \cdot T^6. \quad (2.18)$$

Так звані паразитні витрати активної електричної енергії на прямий нагрів теплоізоляції, компенсаційної вставки та струмопідвода, Дж, визначається опосередковано у залежності від кількості підведеної до печі електричної енергії

$$Q_{\text{дв}} = \int_0^\tau P_{\text{дв}} d\tau = \int_0^\tau K_{\text{втр}}(T_\tau) P_{\text{п}} d\tau = \int_0^\tau K_{\text{втр}}(T_\tau) \cdot [P_{\text{А}} - P_{\text{втр.А}}] d\tau, \quad (2.19)$$

де $P_{\text{дв}}$ - потужність паразитних витрат активної електричної енергії, Вт;

$K_{\text{втр}}$ - ефективний коефіцієнт пропорційності;

$P_{\text{п}}$ - активна потужність, яка підведена до печі, Вт.

Втрати активної енергії з поверхні заготовок через шар теплоізоляції в навколишнє середовище, Дж, визначаються з урахуванням так званого ефективного коефіцієнта теплопередачі, перепаду температур і часу з початку кампанії графітації, та включають в себе витрати енергії на нагрів та випаровування вологи з теплоізоляції, а також на ендотермічну реакцію газифікації.

$$Q_{\text{пов}} = \int_0^\tau P_{\text{пов}} \bar{T}_\tau d\tau = F_3 \int_0^\tau K_{\text{еф}} \bar{T}_\tau \cdot (T_\tau - T_0) d\tau, \quad (2.20)$$

де $P_{\text{пов}}$ - потужність теплових втрат з поверхні заготовок, Вт;

F_3 - зовнішня площа поверхні заготовок, м²;

$K_{\text{еф}}$ - ефективний коефіцієнт теплопередачі від поверхні заготовок через шар ізоляції в навколишнє середовище, Вт/(м²К);

\bar{T}_τ - визначальна температура заготовок, К.

Визначальна температура та зовнішня площа поверхні заготовок обчислюються за наступними співвідношеннями

$$\bar{T}_\tau = 0,5 \cdot (T_\tau + T_0); \quad (2.21)$$

$$F_3 = n \cdot \pi \cdot d_3 \cdot l_n, \quad (2.22)$$

де l_n – довжина печі, м;

n – кількість рядів заготовок в печі.

Для визначення температурної залежності ефективного коефіцієнту пропорційності ($K_{\text{втр}}$) та ефективного коефіцієнта теплопередачі від поверхні заготовок ($K_{\text{еф}}$) використані результати серії розрахункових оцінок теплоелектричного стану печей Кастнера, що виконані на чисельній моделі їх механічного та теплоелектричного стану. Названа модель пройшла перевірку на даних натурних експериментів на печах Кастнера і враховує втрати електроенергії до входу в піч, витрати теплоти на нагрів теплоізоляції, випаровування води з неї і ендотермічну реакцію газифікації. В результаті узагальнення результатів розрахунків отримані залежності від часу кампанії графітування членів рівняння енергетичного балансу печі Кастнера (2.12), визначальної температури і середньомасової температури вугільних заготовок та потужності активних втрат електричної енергії до входу в піч. З використанням отриманих залежностей, а також вихідних електричних характеристик кампаній та геометрії завантаження шляхом вирішення рівнянь (2.19, 2.20) визначаються невідомі величини $K_{\text{втр}}$ та $K_{\text{еф}}$ (рисунок 2.25).

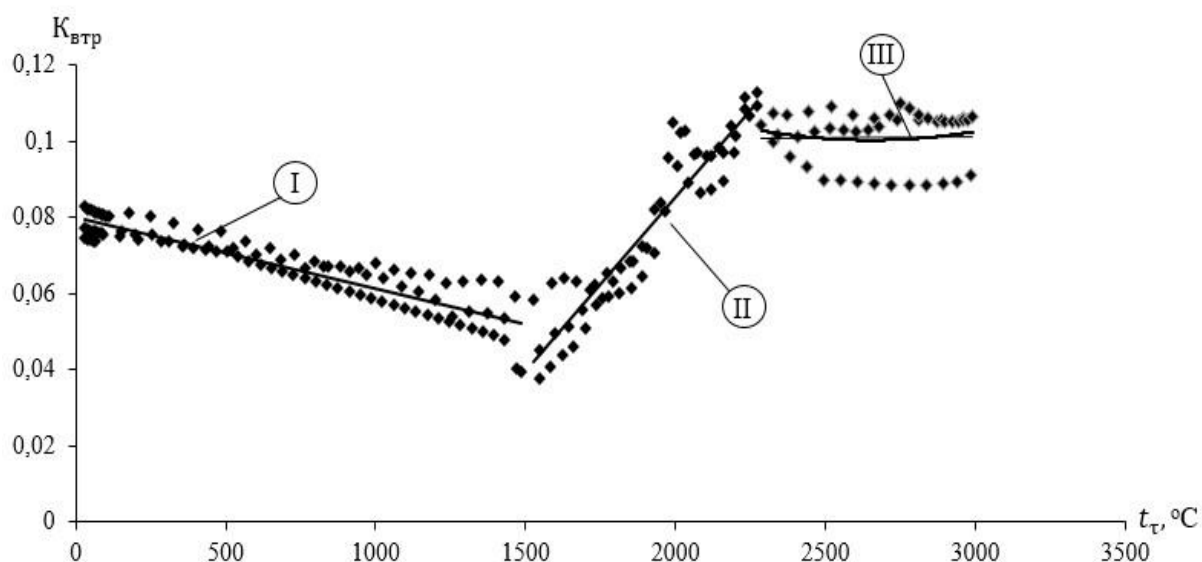


Рисунок 2.24 - Температурна залежність ефективного коефіцієнта пропорційності від середньомасової температури вугільних заготовок

Після узагальнення отриманих розрахункових даних в залежності ефективного коефіцієнта пропорційності від температури виділено три області:

- область I – інтервал температур $0 \dots 1500 \text{ } ^\circ\text{C}$, $K_{\text{втр}} = 0,08 - 2 \cdot 10^{-5} t_{\text{ср}}$;

- область II – інтервал температур 1501...2250 °C, $K_{\text{втр}} = 9 \cdot 10^{-5} t_{\tau} - 0,0074$;
- область III – інтервал температур 2251...3000 °C, $K_{\text{втр}} = 0,235 - 10^{-4} t_{\tau} + 2 \cdot 10^{-8} t_{\tau}^2$.

Оскільки ефективний коефіцієнт пропорційності враховує, зокрема, і витрати активної енергії на прямий нагрів теплоізоляції, то його зменшення в першій області, очевидно, буде обумовлюватися різким зниженням питомого електричного опору (ПЕО) масиву (вуглецева заготовка – теплоізоляція) з підвищенням температури. Потім збільшення ПЕО з ростом температури призводить до підвищення коефіцієнта пропорційності в другій та третій областях. Наприклад, за даними роботи [27] при нагріванні заготовок до температури біля 1500 °C (перша область на графіку) йде процес зміни структури вуглецевого матеріалу в структуру графіту, тобто відбувається ріст шарів кристалічної вуглецевої решітки, потім до температури 2200 °C (друга область на графіку) ріст шарів сповільнюється, а після цієї температури (третя область на графіку) йде тривимірне впорядкування атомів вуглецю в структуру графітового монокристалу.

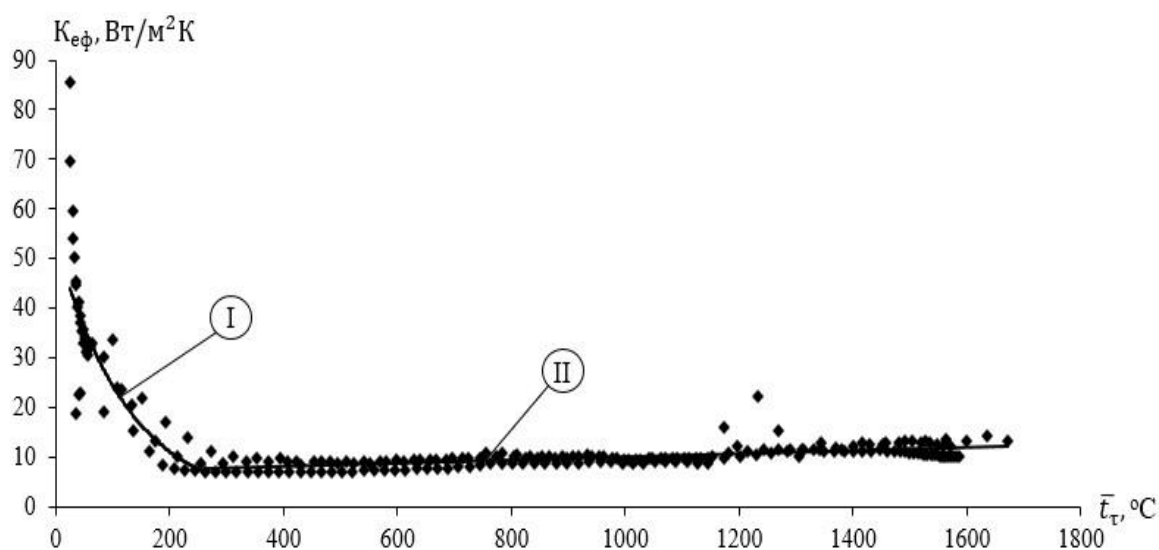


Рисунок 2.25 - Температурна залежність ефективного коефіцієнта теплопередачі від визначальної температури

З представлених на рисунку 2.25 розрахункових даних видно, що з ростом температури до 250 °C (область I) ефективний коефіцієнт теплопередачі зменшується, що пов'язане з постійним випаровуванням вологи з теплоізоляції, яке закінчується при температурі 200 °C. Для цієї області залежність ефективного коефіцієнта теплопередачі від температури описується залежністю $K_{\text{эф}} = 53,46 e^{-0,008 \bar{t}_{\tau}}$.

Для області II (інтервал температур 251...1800 °С) ефективний коефіцієнт теплопередачі незначно збільшується з ростом температури, а його залежність має вигляд $K_{\text{эф}} = 6,72 + 0,0033 \overline{t_t}$.

2.4.3 Результати розрахунків

Для практичного визначення середньомасової температури заготовок в печі Кастнера за наведеною вище методикою з системи рівнянь (2.12) – (2.22) можна використати метод дискретизації за часом. Невідома величина середньомасової температури T_τ для будь-якого проміжка часу з початку кампанії графітування за отриманим дискретним нелінійним рівнянням визначається методом хорд.

Вихідні дані до розрахунків

1 Характеристики вугільних заготовок:

- тип;
- діаметр d_3 , м;
- кількість заготовок у свічці n , шт.;
- маса m_3 , кг.

2 Початкова середньомасова температура заготовок T_0 , К.

3 Електричні характеристики печі:

- кількість паралельно встановлених працюючих пічних трансформаторів n_t , шт;
- активна потужність на високій стороні пічного трансформатора $P_A(\tau)$, Вт;
- сила струму пічного ланцюга $I_n(\tau)$, А;
- напруга пічного ланцюга $U(\tau)$, В;
- кількість активної електричної енергії на високій стороні трансформатора $Q_A(\tau)$, Дж.

Практичні розрахунки середньомасової температури заготовок в печі графітування однієї з кампаній за технологією Кастнера наведені на рисунку 2.26, де також показані і результати, що отримані на числовій моделі механічного та теплоелектричного стану печі.

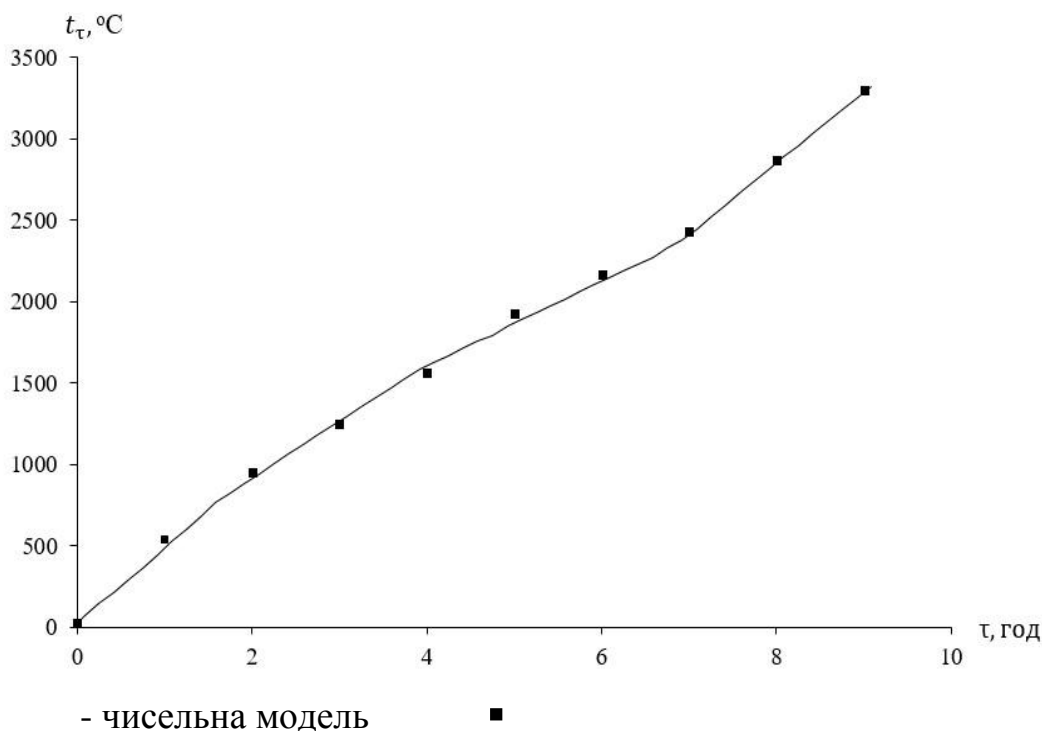


Рисунок 2.26 - Залежність середньомасової температури вугільних заготовок від часу при графітуванні в печі Кастнера

Наведений на рисунку 2.26 графік залежності середньомасової температури заготовок описується рівнянням:

$$K_{\text{эф}} = 36,83 + 534,39\tau - 48,2\tau^2 + 2,56\tau^3 + 0,075\tau^4.$$

2.5 Висновки до розділу 2

- 1 Проаналізовано схему завантаження електродних заготовок, схему встановлення експериментальних датчиків, методику експериментальних досліджень та проведено аналіз експериментальних досліджень теплоелектричного стану промислової печі Кастнера під час кампанії графітування електродних заготовок діаметром 435 мм.
- 2 Встановлено, що під час кампанії графітування печі Кастнера має місце процес газифікації вуглецевого матеріалу водяною парою у робочому просторі печі, який призводить до зменшення темпу нагрівання електродних заготовок на 10–20 %. З'ясовано, що та частина заготовок, яка повернута від центру печі, в діапазоні температур 600–900 °C нагрівається повільніше, ніж інша завдяки додатковому відбору теплоти на випаровування води та газифікацію вуглецевого матеріалу.
- 3 Виявлено, що ефект кільцевої форми електроконтактної прокладки спостерігається тільки у торцевій зоні заготовок. Завдяки застосуванню кільцевих електроконтактних прокладок перепад температури по осі центральних заготовок обох рядів практично

відсутній, а перепад температури по всіх заготовках центральної частини ряду не перевищує 70 °С.

- 4 Тепловий режим роботи дослідної печі характеризувався високою температурою бетонної подини та внутрішньої поверхні бокових залізобетонних колон. Надалі всі бетонні елементи печі Кастнера необхідно виконувати з вогнетривкого бетону, щоб уникнути їх руйнування.
- 5 На підставі експериментальних досліджень визначено основні показники енергетичної ефективності прямих печей графітації постійного струму - питомі витрати електроенергії, що підводиться на одиницю продукції і частка акумульованої заготовками теплоти.
- 6 Встановлено, що в процесі нагрівання заготовок частка акумульованої теплоти спочатку зменшується (в період випаровування вологи з теплоізоляції), потім збільшується до досягнення максимальних температур заготовок або максимальних значень потужності, що підводиться, і знову зменшується до кінця кампанії.
- 7 В результаті розрахунків втрат теплоти, що підводиться до печі графітації отримано, що найбільш істотними є її витрати на нагрів конструкційних матеріалів печі (44,85%), теплоізоляційної шихти (33,72%) та втрати з газами, що виходять з печі (11,68%).
- 8 Розроблена методика оперативного визначення середньомасової температури заготовок печей Кастнера в режимі реального часу, в якій враховані корисні витрати енергії на нагрівання заготовок з урахуванням її втрат до входу в піч; паразитні витрати енергії на прямий нагрів теплоізоляції, компенсаційної вставки та струмовідводу; витрати на нагрів та випаровування вологи з теплоізоляції, втрати з поверхні заготовок в навколишнє середовище; витрати енергії на ендотермічну реакцію газифікації.
- 9 Отримані температурні залежності ефективного коефіцієнта теплопередачі від поверхні заготовок через шар теплоізоляції в навколишнє середовище і ефективного коефіцієнта пропорційності, що враховує витрати активної електричної енергії на прямий нагрів теплоізоляції, компенсаційної вставки та струмовідводу.
- 10 Співставлення результатів розрахунків для однієї з кампаній печі Кастнера з чисельним моделюванням механічного та теплоелектричного стану печі показало, що розроблена методика може бути рекомендована для практичного використання при розробці АСУ процесу графітації в печах Кастнера.

3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ ЗАГОТОВОК В ПРОЦЕСІ ГРАФІТАЦІЇ

В магістерській дисертації була розроблена експрес-методика визначення середньомасової температури заготовок печі графітування за технологією Кастнера. Для цього необхідним було проведення низки експериментів з дослідження процесу графітації заготовок різного діаметру. В зв'язку з тим, що проведення натурних дослідів є енерго- та капіталозатратним, прийнято рішення створити математичну модель, яка буде адекватно відображати процес графітації вуглеграфітових заготовок.

Після верифікації та валідації математичної моделі отримані результати можна порівнювати та переносити на реальні установки.

Повна математична модель печі графітації за технологією Кастнера дозволяє отримати температурний розподіл безпосередньо в графітовій заготовці, теплоізоляційній шихті, струмопідводах, шамотній футеровці печі.

Математичне моделювання було здійснене в програмі Solid Works.

3.1 Постановка задачі

Ціль роботи: отримати розподіл температури по перерізу пресованої вуглеграфітової заготовки.

Задачі, які необхідно вирішити:

- 1) Побудувати спрощену 3D-модель печі графітації за методом Кастнера;
- 2) Задати граничні умови та провести розрахунок вуглеграфітової заготовки в середовищі FlowSimulation;
- 3) Проаналізувати адекватність побудованої моделі порівнявши отримані результати з результатами отриманими фахівцями науково-дослідного центру «Ресурсозберігаючі технології» КПІ ім. Ігоря Сікорського.

3.2 Геометричне моделювання

Будуємо 3D-модель печі графітації за методом Кастнера, для цього спочатку створюємо окремі деталі, які в подальшому об'єднуємо у збірку. На рисунках 3.1 – 3.4 показані деталі печі графітації.

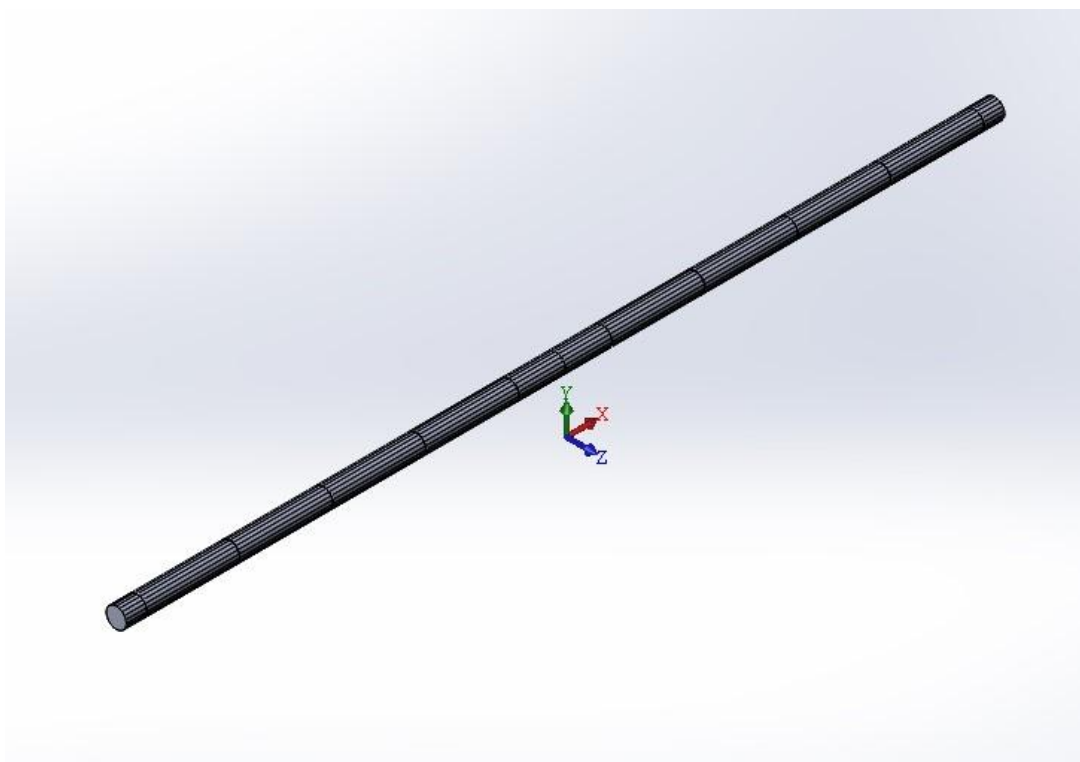


Рисунок 3.1 – Пресована вуглецева заготовка

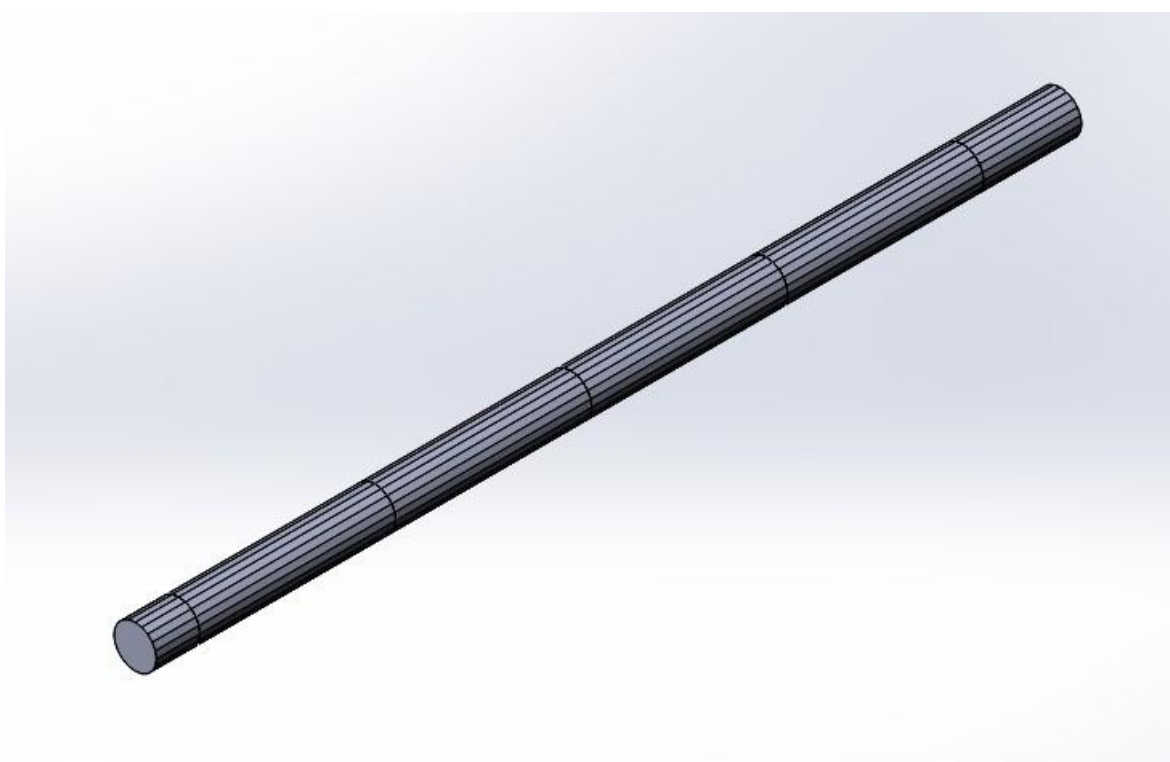


Рисунок 3.2 – Пресована вуглецева заготовка (фрагмент)

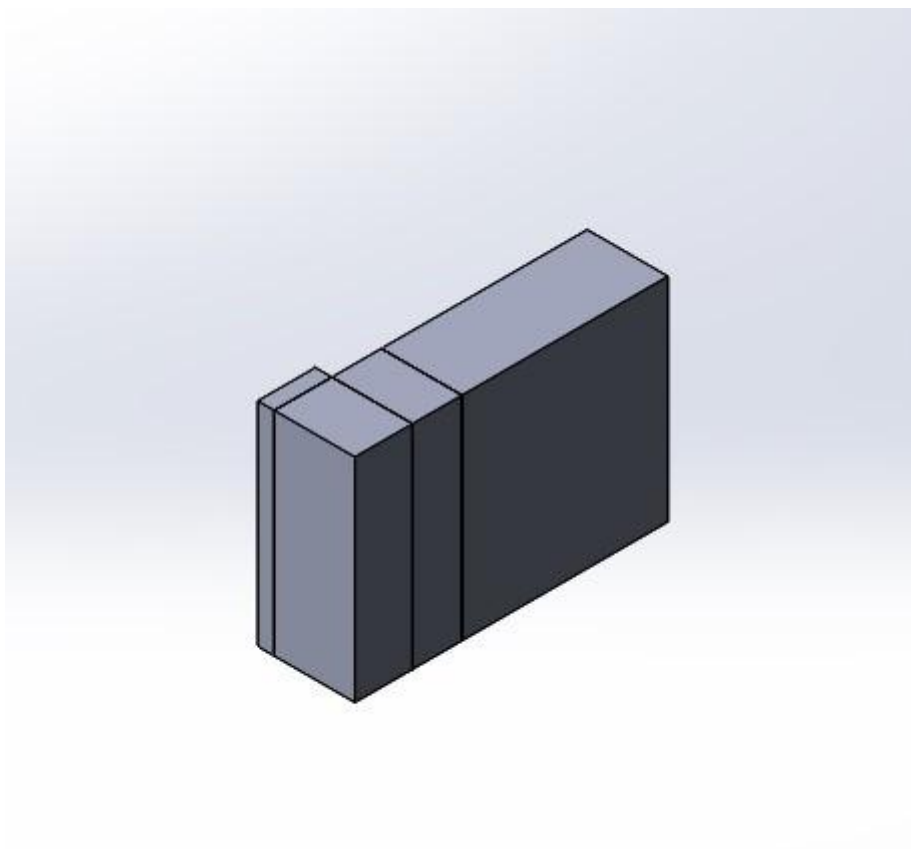


Рисунок 3.3 – Струмopідводи

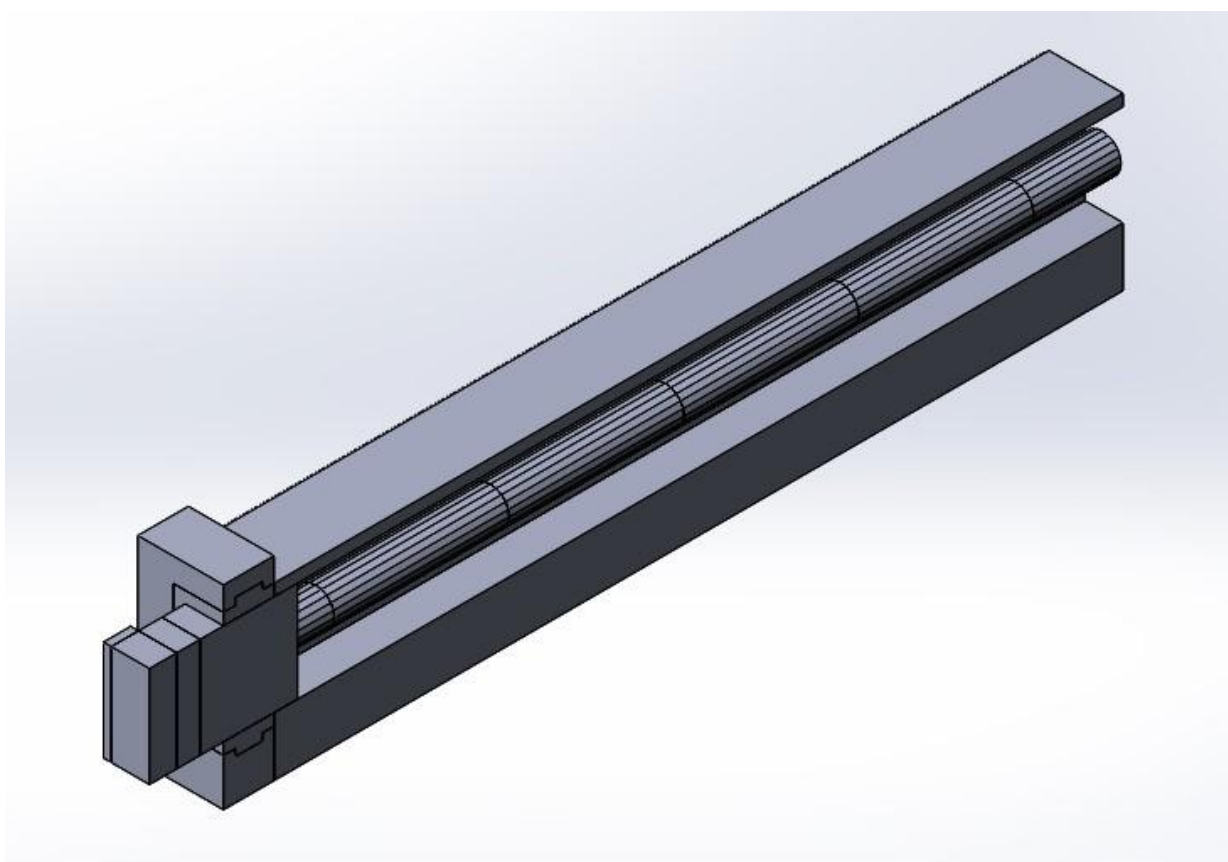


Рисунок 3.4– Четверта частина печі (симетрична)

Після того як всі деталі готові приступаємо до збірки печі графітування. На рисунках

3.5 – 3.6 наведена 3D-модель печі графітації.

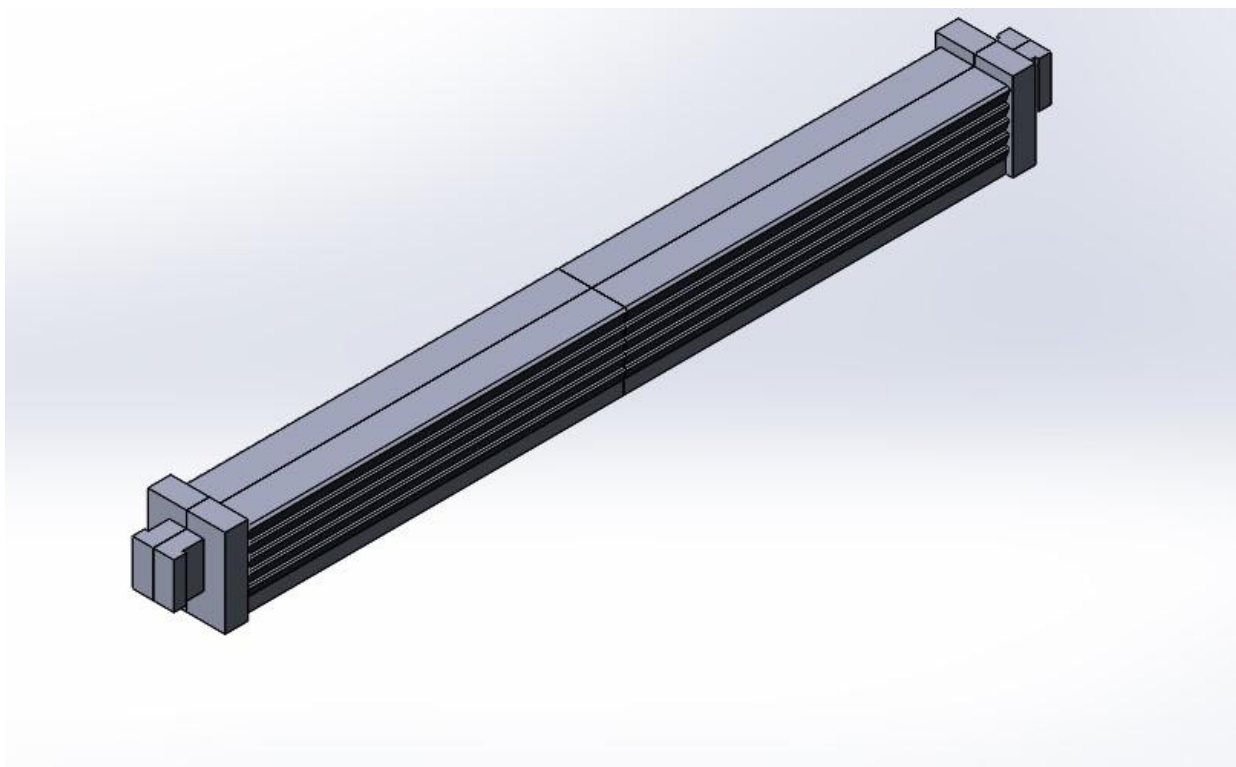


Рисунок 3.5 – 3D-модель печі графітації

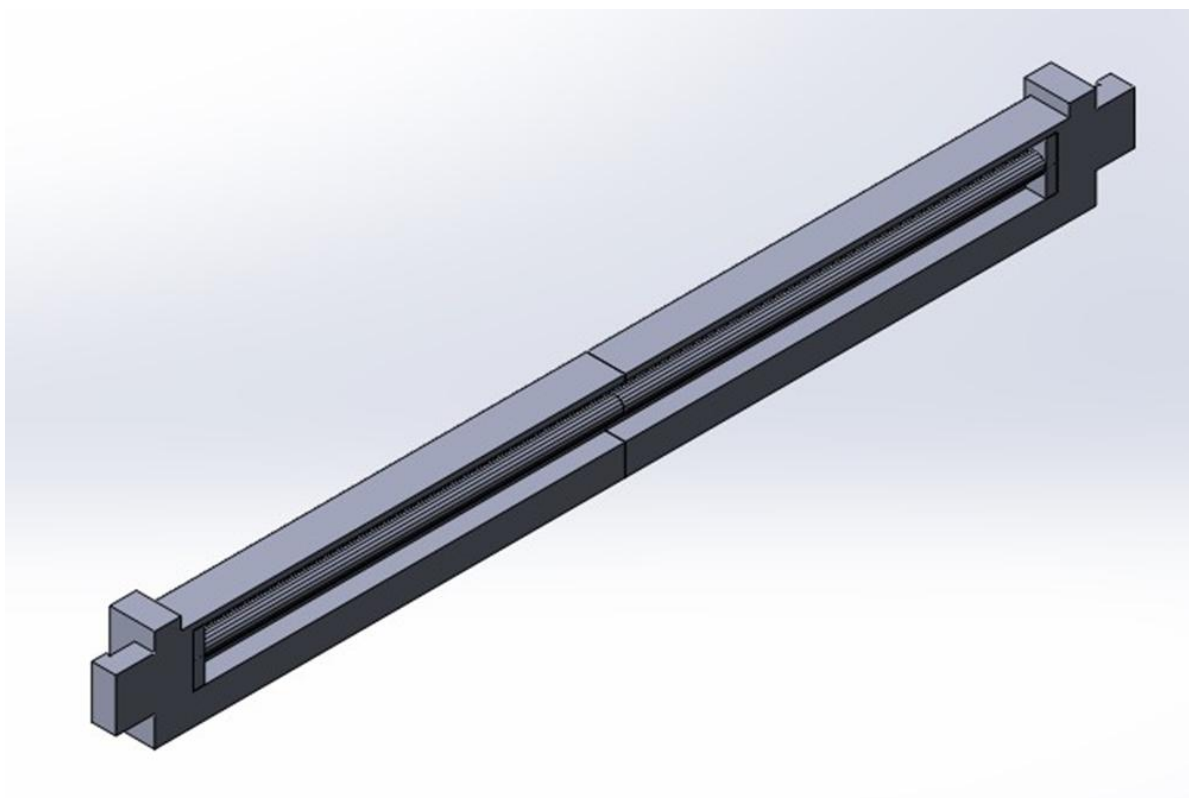


Рисунок 3.6 – 3D-модель печі графітації (розріз)

3.3 Фізичне моделювання

Метою проведення фізичного моделювання є отримання розподілу температур в печі. Однак, для спрощення розрахунку фізичне моделювання проводилось для пресованої вуглецевої заготовки.

Для отримання розподілу температур в заготовці задаємо певні граничні умови. На рисунках 3.7 – 3.9 відображено задання граничних умов в середовищі FlowSimulation та процес проведення розрахунку (Рисунок 3.10).

Крок 1. Задаємо поверхнєве теплове джерело потужністю 10000Вт.

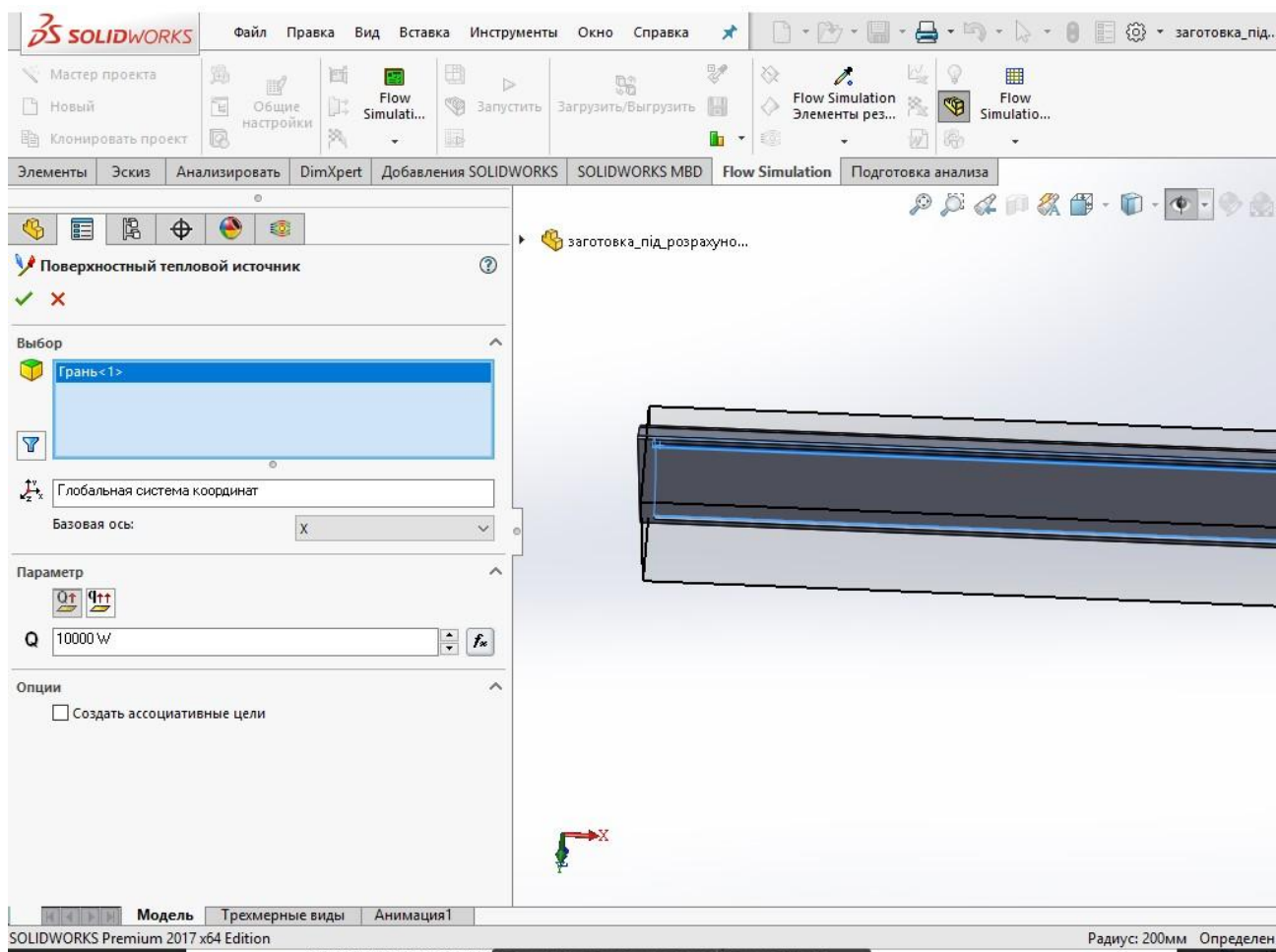


Рисунок 3.7 – Задання теплового джерела

Крок 2. Задаємо швидкість на вході 0,001м/с.

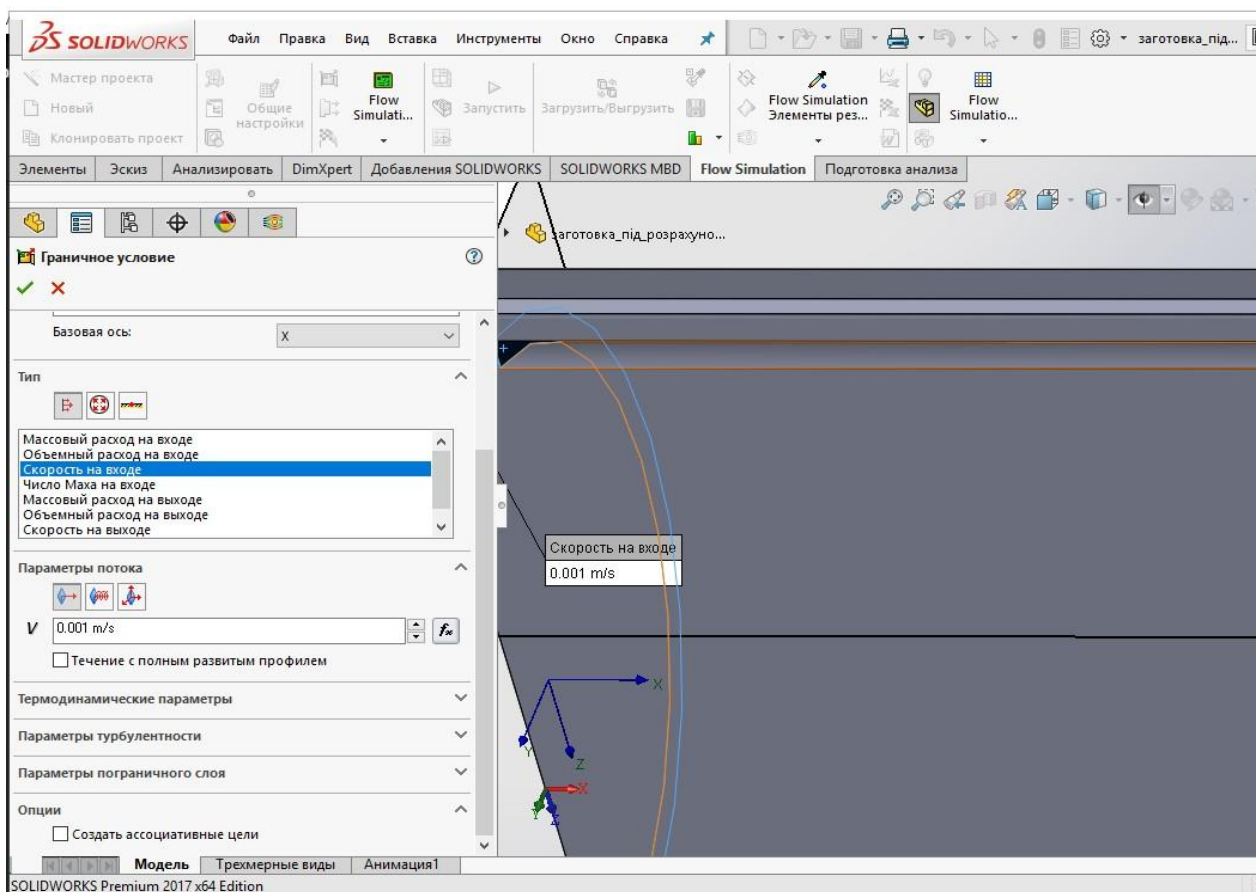


Рисунок 3.8 – Задання граничних умов на вході

Крок 3. Задаємо тиск на виході – тиск оточуючого середовища.

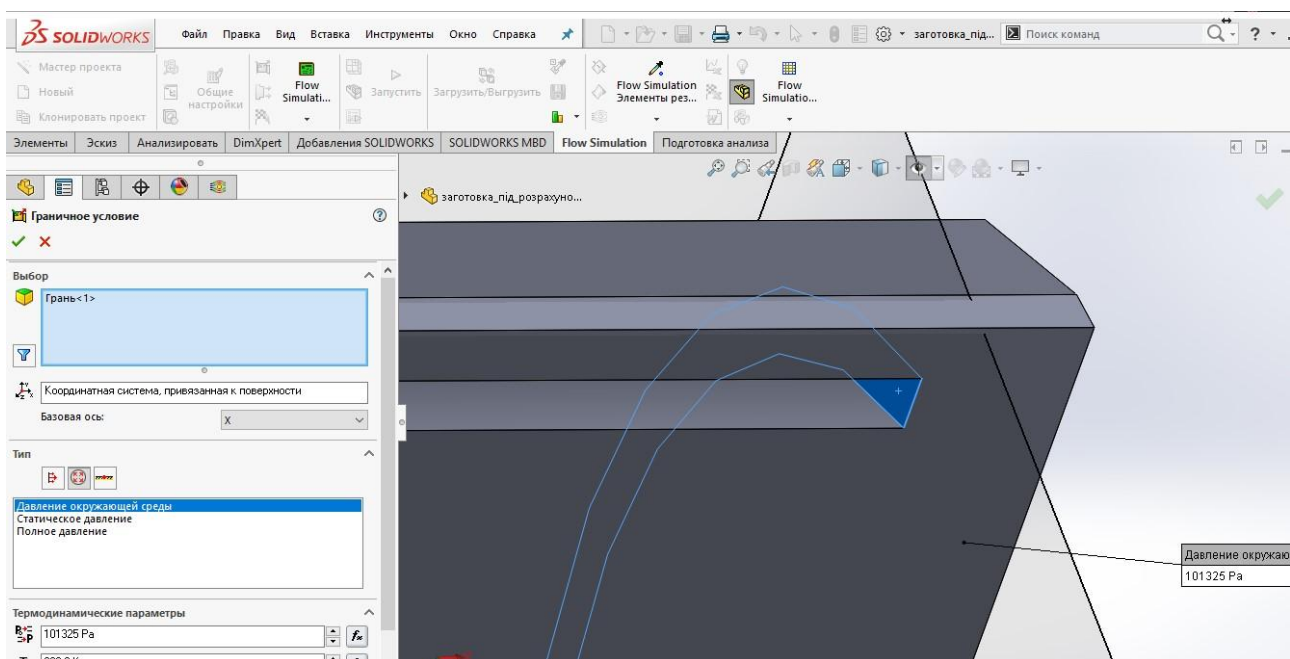


Рисунок 3.9 – Задання граничних умов на виході

Крок 4. Проведення розрахунку.

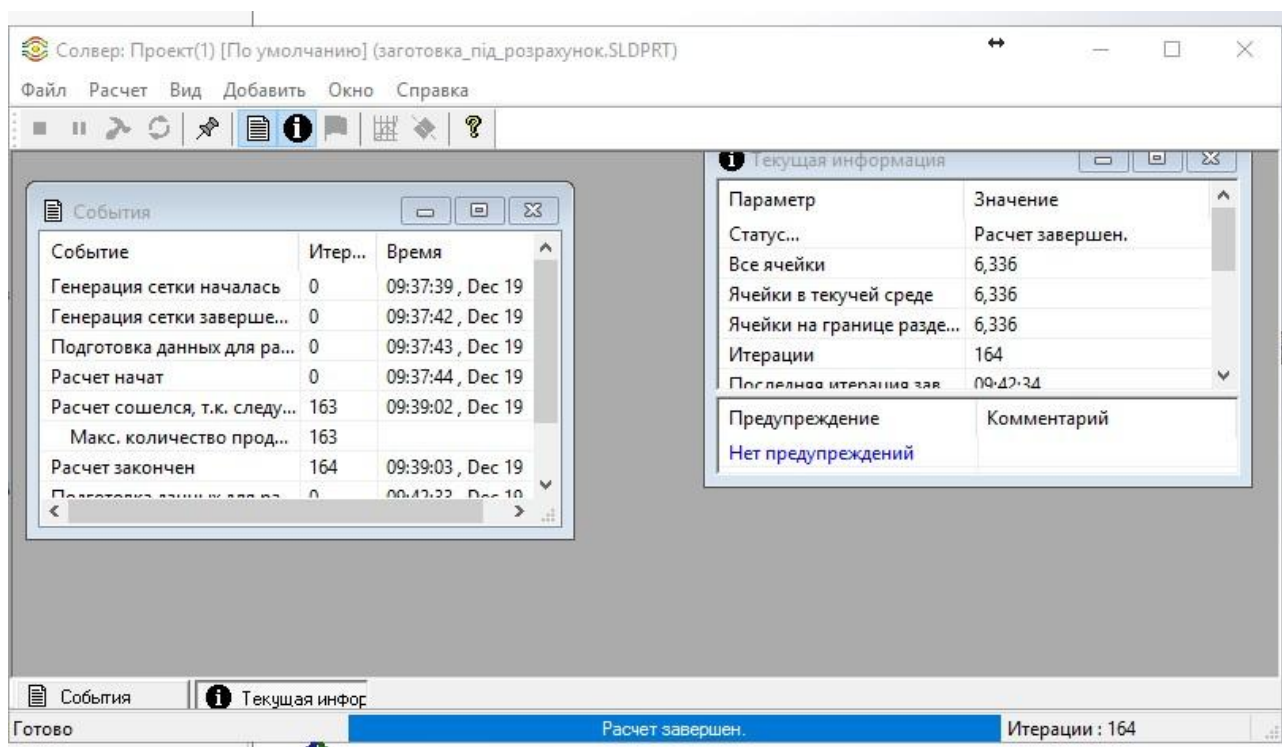


Рисунок 3.10 – Процесс розрахунку

3.4 Аналіз результатів

На рисунках 3.11 – 3.13 наведені результати фізичного моделювання у вигляді розподілу температур в заготовці при підведенні струму до її центральної частини.

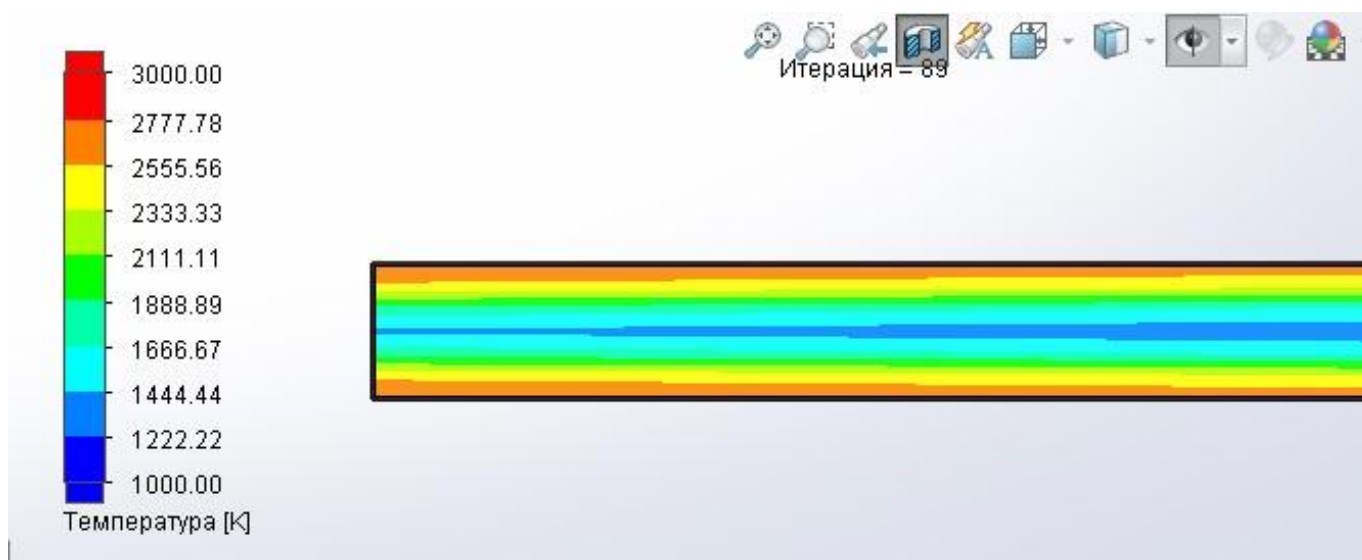


Рисунок 3.11 – Розподіл температур по довжині заготовки

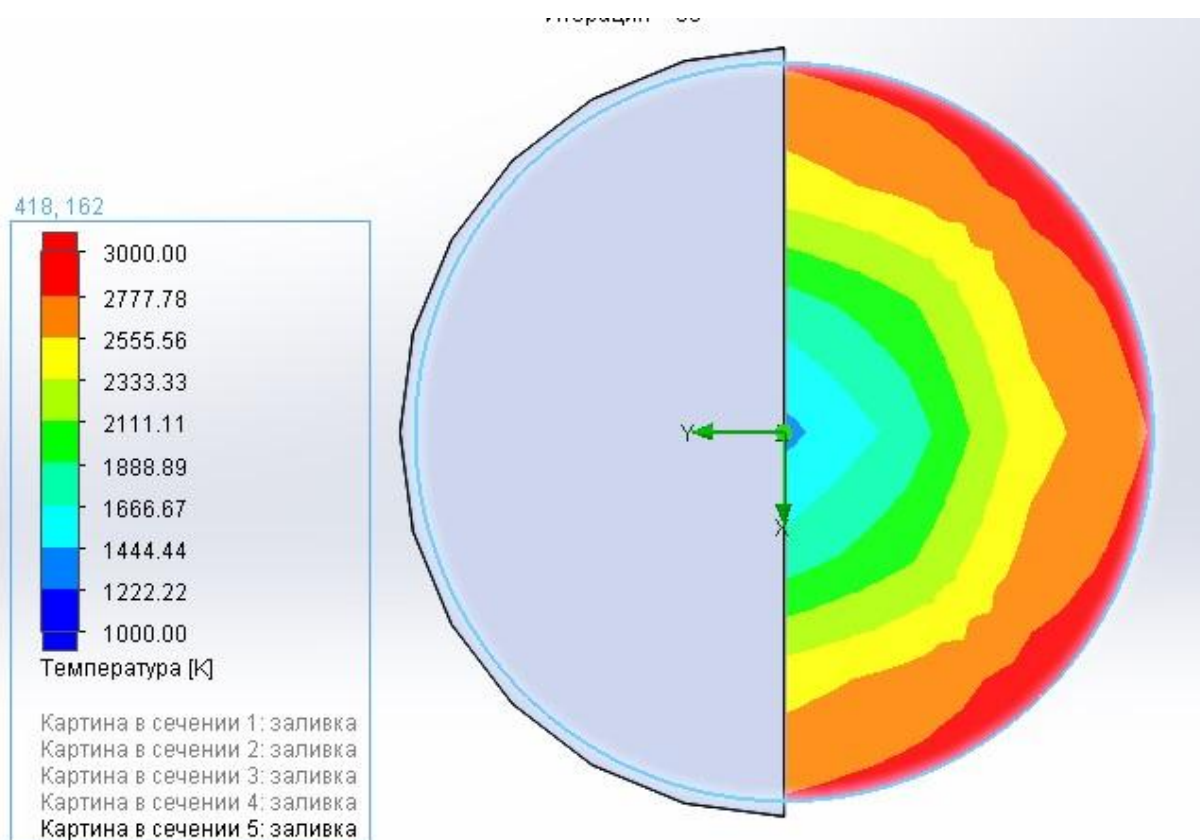


Рисунок 3.12 – Розподіл температур в центральній частині заготовки (поперечний розріз)

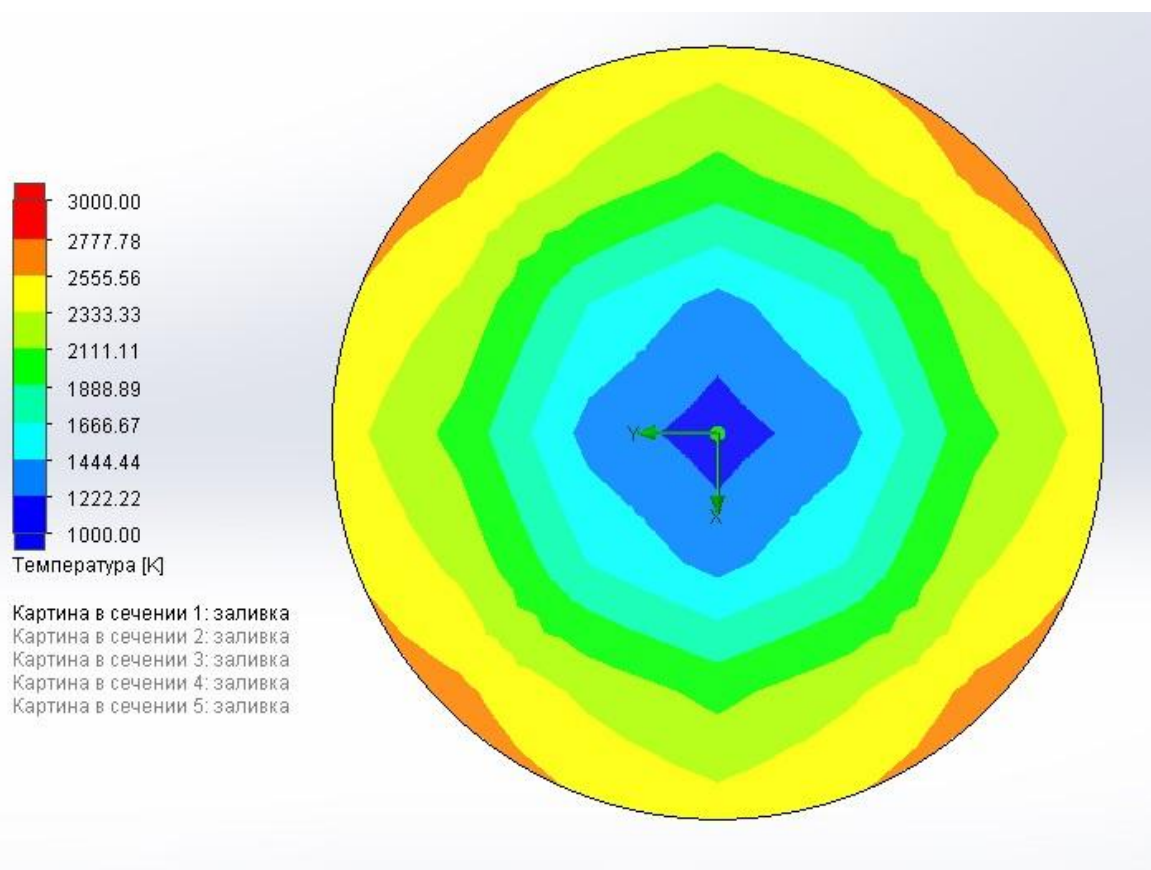


Рисунок 3.13 – Розподіл температур на торці заготовки (вхідна ділянка)

3.5 Порівняння результатів математичного моделювання з натурним експериментом

Було проведено порівняння отриманого розподілу температур по заготовці з результатами натурних експериментів, які були виконані на заводі м. Запоріжжя на повномасштабній працюючій печі графітації за технологією Кастнера. При моделюванні процесу в середовищі SolidWorks такі дані як густина, питома теплоємність, коефіцієнт теплопровідності матеріалу заготовки, були занесені в інженерну базу даних SolidWorks. Вихідні дані до розрахунку при моделюванні відповідають фізичним параметрам реального процесу (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 - Вихідні дані для розрахунку

Найменування величини	Числове значення	
	Експериментальне значення	SolidWorks
Діаметр заготовки, мм	500	500
Густина, г/см ³	2,267	2,267
Питома теплоємність, Дж/кг·К	750	750
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·К	150	150
Температура в середині приміщення	20	20

Отримані дані за допомогою інструменту «измерение в точке» занесені в таблицю 3.2.

При моделюванні теплових процесів допустимою похибкою в результатах вважається 15 %.

Аналізуючи дані таблиці 3.2 бачимо, що похибки моделювання наступні:

- для точки 1 складає 6,95%;
- для точки 2 – 8,10 %;
- для точки 3 - 10,32 %
- для точки 4 – 9,31 %.

Отже максимальна похибка складає 10,32 %, що є хорошим показником відповідності моделі натурному об'єкту.

Таблиця 3.2. Значення температури в кінці процесу графітації по перерізу заготовки

Температури по перерізу	Числове значення температур				Відносна похибка	
	Експериментальне значення		SolidWorks			
	На торці заготовки (вхідна ділянка), °C	В центральній частині заготовки, °C	На торці заготовки (вхідна ділянка), °C	В центральній частині заготовки, °C	На торці заготовки (вхідна ділянка), %	В центральній частині заготовки, %
Точка 1	1940	3227	1813	3003	6,54	6,95
Точка 2	1933	3220	1792	2959	7,31	8,10
Точка 3	1900	3235	1716	2901	9,67	10,32
Точка 4	1650	3180	1509	2884	8,49	9,31

3.6 Висновки до розділу 3

Розроблена 3D модель печі графітації за технологією Кастнера в програмному забезпеченні SolidWorks.

Аналізуючи результати фізичного моделювання, проведеного за допомогою модуля FlowSimulation, робимо висновок, що отриманий розподіл температур, з фізичної точки зору, відповідає очікуваним результатам.

Похибка результатів моделювання знаходиться в межах 15%, що є допустимим для розрахунків теплових процесів (максимальна похибка складає 10,32 %)

Відмінність у результатах зумовлена, перш за все тим, що розрахунок проводився з недостатньо високою точністю. До того ж моделювалась лише одна заготовка, відповідно вплив сусідніх заготовок не враховувався, звідси і були отримані нижчі температури в розрахункових точках моделі.

Враховуючи порівняння результатів математичного моделювання з натурним експериментом можемо зробити висновок, що модель адекватно відображає реальний фізичний процес та може бути використана для проведення розрахунків для різних наборів вхідних параметрів.

Перевагою моделювання в SolidWorks перед натурним експериментом є наочне представлення фізичного процесу. При цьому Flow Simulation дозволяє визначати широкий спектр фізичних величин, отримати графічні представлення результатів в залежності від поставленої задачі.

4 РОЗРОБКА СТАРТАП- ПРОЕКТУ

4.1 Опис ідеї проекту

В цьому підрозділі проаналізовано та подано у вигляді таблиць 4.1 та 4.2 наступну інформацію:

- зміст ідеї (що пропонується);
- можливі напрямки застосування;
- основні вигоди, що може отримати користувач товару (за кожним напрямком застосування);
- відмінності від існуючих аналогів та замінників.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Ідея полягає в розробці експрес-методики визначення середньомасової температури вуглеграфітових виробів в печах графітування за технологією Кастнера	Розробка графічних залежностей для оперативного визначення середньомасової температури вуглеграфітових виробів	Користувач отримає матеріали для визначення температурного стану печі в режимі реального часу
	Навчання обслуговуючого персоналу (як додаткова послуга)	Користувач отримає кваліфікований персонал для оперативної діагностики температурного стану печі в режимах реального часу
	Використання методики при розробці АСУ процесу графітації в печах Кастнера	Користувач отримає допомогу в розробці АСУ процесу графітації в печах Кастнера, що значно зменшує строки виконання проекту

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності (таблиця 4.2)..

Таблиця 4.2 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко- економічні характеристики ідеї	(Потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	Конкурент 1	Конкуре нт 2			
1 Точність результатів	≤10%	15%	10%	+		
2 Терміни виконання замовлення, міс	3-4	6	9			+
3 Можливість застосування в режимі реального часу	Так	Ні	Ні			+
4 Простота користування результатами	Так	Необхідні додаткові знання	Ні			+
4 Ціна послуги	Середня	Нижче середньої	Середня		+	

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проведено аудит технології, за допомогою якої реалізується ідея проекту. Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (таблиця 4.3):

- за якою технологією буде реалізовано проект;
- чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/додати;
- чи доступні такі технології авторам проекту.

Таблиця 4.3 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Розробка експрес-методики визначення середньомасової температури вуглеграфітових виробів в печах графітування за технологією Кастнера	Створення чисельної моделі штатним працівником	Наявна	Потребує залучення в штат програмістів
	Використання послуг програмістів для розробки чисельної моделі	Наявна	Потребує більших матеріальних витрат

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів [28].

Спочатку проведено аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 4.4).

За попередніми оцінками ринок є привабливим для входження, зважаючи на швидких розвиток, рентабельність запропонованої технології та не значну конкуренцію на вітчизняному ринку.

Далі проведено аналіз ринкового середовища (таблиці 4.5, 4.6). Фактори в таблицях подані в порядку зменшення значущості.

Таблиця 4.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1 Кількість головних гравців, од	2
2 Загальний обсяг продаж (вартості проектів), грн/ум.од	135000 / 5 000
3 Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4 Наявність обмежень для входу	Наявність кваліфікованого персоналу
5 Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6 Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	30%

Таблиця 4.5 - Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1 Поява економічно більш вигідної пропозиції	Поява конкурента з заявленою нижчої ціною на послуги розрахунку	Перегляд цінової політики, або строків виконання розрахунку
2 Поява технічно більш досконалої методики	Поява на ринку методики, яка забезпечить більшу точність та кращу візуалізацію результатів	Оцінка перспективності нової методики, створення нових конкурентних переваг.

Таблиця 4.6 - Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1 Запуск проекту побудови нових підприємств	Оголошення тендеру, щодо підбору підрядних компаній для розробки системи АСУ ТП	Участь у тендері, розширення штату працівників
2 Спрощення процедури виходу на міжнародний ринок	Прийняття законодавчих актів, що спрощують подачу заявок на участь у	Переклад всієї необхідної документації англійською мовою, залучення до співпраці

	міжнародних тендерах	перекладачів
--	----------------------	--------------

Далі визначено потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформовано орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (таблиця 4.7).

Таблиця 4.7 - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1 Визначення температурного стану печі в режимі реального часу	Власники чи керівники вуглеграфітових підприємств	Власники роблять акцент на отриманні прибутку, керівники – на ефективності та безпеці виробничого процесу.	Розробка експрес-методики визначення температурного стану печі в режимі реального часу
2 Наявність кваліфікованого персоналу для керування процесом графітації	Власники чи керівники вуглеграфітових підприємств	Для власників наявність штатного кваліфікованого персоналу економічно більш вигідна, ніж залучення стороннього; для керівників – підвищення професіоналізму штату	Кваліфікація працівників, яка дозволяє оперативно діагностувати температурний стан печі в режимах реального часу
3 Розробка АСУ процесу графітації в печах Кастнера	Компанії, що займаються проектуванням систем АСУ процесу графітації	Клієнти зацікавлені в зменшенні строків виконання замовлення на проектування, що	Практична застосовність методики при розробці АСУ процесу графітації в печах

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
		збільшує їх конкурентоспроможність на ринку	Кастнера

Наступним кроком проведено аналіз пропозиції (таблиця 4.8).

Таблиця 4.8 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
За типом конкуренції - чиста	Отримання замовлень відбувається шляхом участі в тендерах	Отримання дозволів на участь в тендерах на основі пакету документів, які засвідчують гарантії виконання проекту
За рівнем конкурентної боротьби - національна	Конкуренція ведеться на ринку країн СНД	Ведучи конкуренцію на національному рівні, необхідно прикласти належні зусилля для охоплення всього національного ринку
За галузевою ознакою - внутрішньогалузева	Конкуренція на ринку відбувається в металургійній галузі	Необхідно зосередити зусилля на пошуку конкурентних переваг, які дозволять компанії займати стійкі конкурентні позиції на даному ринку
Конкуренція за видами товарів - товарно-родова	Конкуренція з іншими розрахунковими методиками	Робиться ставка на швидкість виконання розрахунку і можливість виконання оцінки температурних показників печі Кастнера в режимі реального часу
За характером конкурентних переваг - цінова/нецінова конкуренція	<i>Нецінова:</i> Замовники звертають увагу застосовність методики до умов реального виробництва <i>Цінова:</i> Для більшості замовників визначальною є ціна послуги	Головною конкурентною перевагою є застосування методики в режимі реального часу
За інтенсивністю – не марочна	Акцент робиться на одному виді послуги	Вдосконалення компанії за обраним напрямком

Проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера - таблиця 4.9).

Таблиця 4.9 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Група «Енергопром», SGL group	Доступ до ресурсів – наявність кваліфікованого персоналу та науково-технічної бази	Матеріал и для проведення фізичних дослідів	Контроль якості	Ціна
Висновки	Конкурентна боротьба з прямими конкурентами інтенсивна, виражається через участь у тендерах	Можливості входження на ринок існують, наявних потенційних конкурентів на даний момент не спостерігається	Диктує умови роботи, бо придбання матеріалів є періодичним	Контроль якості відбувається шляхом порівняння результатів, отриманих за різним методиками	Компанія втрачає клієнтів, орієнтованих тільки на ціну

З огляду на наявну конкурентну ситуацію принципова можливість входження послуги на ринок існує. Для успішної конкурентоспроможності послуги необхідно робити акцент на строки та якість виконання розрахунків, тим самим зменшивши вплив ціни послуги на прийняття рішення замовником. Для ширшого визначення сильних сторін запропонованої послуги проведемо обґрунтування факторів конкурентоспроможності (таблиця 4.10).

Відповідно до виявлених факторів конкурентоспроможності в галузі та виявлених факторів внутрішнього середовища, що здатні їх забезпечити, можна оцінити сильні та слабкі сторони послуги на енергетичному ринку.

Для аналізу відібрано двох наявних конкурентів:

- група «Енергопром» - а;

– SGL group – б.

Аналіз сильних та слабких сторін пропонованої послуги на вітчизняному ринку у порівнянні з конкурентами наведено в таблиці 4.11.

Таблиця 4.10 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
Точність розрахунку	Зважаючи на цілі, для яких розробляється методика, до точності не пред'являють значних вимог, однак отримані оціночні параметри мають загалом об'єктивно відображати реальний процес
Ціна	Для замовників ціна часто є визначальним фактором. Необхідно або переглянути розмір ціни послуги, або зменшити її вплив на прийняття рішення шляхом висвітлення переваг послуги
Строки виконання	Замовники зацікавлені в якнайшвидшому отриманні результату для впровадження на виробництві та посилення конкурентоспроможності
Простота користування результатами	Результаті повинні мати наглядну форму, аби вони дійсно забезпечували оперативне визначення необхідний параметрів, бути зручними для користування персоналом підприємства
Застосовність в режимі реального часу	Даний фактор є визначальним, адже саме необхідність моніторингу технологічного процесу в режимі реального часу і спричинила попит на послугу

Таблиця 4.11 - Порівняльний аналіз сильних і слабких сторін проекту

Фактор конкурентоспроможності	Вагові значення фактора (1-20)	Рейтинг конкурентів у порівнянні з даним проектом							
		3	-	-2	-1	0	1	2	3
1 Точність розрахунку	10							б	а
2 Ціна	12					б	а		
3 Строки виконання	15			б	а				
4 Простота користування	18	б			а				

результатами								
5 Застосовність в режимі реального часу	20	a ,б						

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (таблиця 4.12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (таблиця 4.11).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення [28].

Таблиця 4.12 - SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> • простота користування результатами; • строки виконання; • застосовність в режимі реального часу. 	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> • вища ціна порівняно з конкурентами; • нижча точність розрахунку.
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> • запуск проекту побудови нових підприємств; • спрощення процедури виходу на міжнародний ринок. 	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> • загроза появи економічно більш вигідної пропозиції; • загроза появи технічного більш досконалої методики.

Визначені на основі SWOT- аналізу альтернативи ринкової поведінки проаналізовані з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (таблиця 4.13).

Таблиця 4.13 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1 Орієнтація на вітчизняний ринок	Лише технічна база та персонал	5 місяців
2 Орієнтація на зарубіжний ринок	Навчання персоналу, розширення штату, підготовка пакету необхідної документації. Можливий шлях отримання ресурсів –	≥ 1 року

Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
	інвестування або кредитування	
3 Орієнтація на широкий промисловий ринок	Потребує перекаліфікацію персоналу, рекламу	24 місяці

Відповідно до проведеного аналізу обрана альтернатива орієнтації на вітчизняний ринок.

4.4 Розроблення ринкової стратегії об'єкту

Визначимо стратегію охоплення ринку споживачів та базову стратегію розвитку (таблиці 4.14, 4.15). Вибір стратегії конкурентної поведінки наведено в таблиці 4.16.

Таблиця 4.14 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи	Готовність споживачів	Орієнтовний попит	Інтенсивність конкуренції	Простота входу в сегмент
1 Власники вуглеграфітових підприємств	Готовність висока, внаслідок сучасних вимог до контролю процесу	Попит високий	Основна конкуренція зосереджена в сегменті	Помірна
2 Керівники вуглеграфітових підприємств	Готовність середня	Попит спричинений необхідністю підвищення конкурентної спроможності підприємства	Помірна конкуренція	Існують труднощі
3 Компанії, що займаються проектуванням систем АСУ процесу	Дана послуга є корисною в покращенні якості проектування	З'явиться з появою нових проектів	Не значна	Складна

графітації				
------------	--	--	--	--

Таблиця 4.15 - Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива	Стратегії охоплення ринку	Ключові позиції	Базова стратегія розвитку
Вихід на вітчизняний ринок	Поступовий вихід на ринок через участь у тендерних замовленнях	Термін виконання, застосовність в режимі реального часу та наглядність результатів	Стратегія диференціації

Таблиця 4.16 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
З т.з технології - першопрохідець	Забирати існуючих	Можливо часткового перейняти структуру науково-технічного звіту з результатами робіт	Стратегія лідера

Розроблено стратегію позиціонування (таблиця 4.17). що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати проект.

Таблиця 4.17 - Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентні спроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій
Строк виконання, ціна, застосовність в режимі реального часу, простота	Стратегія диференціації	Застосування в режимі реального часу, простота, оперативність виконання	Адекватність, надійність, оперативність

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 4.18 підсумовано результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.18 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги
Моніторинг технічних параметрів печі	Визначення температурного стану печі в режимі реального часу	Застосування в режимі реального часу, простота в користуванні результатами
Професіоналізм персоналу	Наявність кваліфікованого персоналу для керування процесом графітації	Строки виконання

Надалі розроблено трирівневу маркетингову модель товару: уточнено ідею послуги, її фізичні складові, особливості процесу її надання (таблиця 4.19).

Таблиця 4.19 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Дана послуга задовольняє потребу споживача у контролі за параметрами протікання процесу в печах графітування за технологією Кастнера в режимі реального часу
II. Товар у реальному виконанні	Послуга: розробка експрес-методики визначення середньомасової температури вуглеграфітових виробів в печах графітування за технологією Кастнера
III. Товар із підкріпленням	Уточнення поточних технічних характеристик конкретної печі
	Навчання персоналу у використанні розробленої методики
За рахунок того, що буде застосовано захист інтелектуальної власності.	

Після формування маркетингової моделі товару слід особливо відмітити те, чим саме проект буде захищено від копіювання. Захист буде організовано за рахунок захисту ідеї товару (захист інтелектуальної власності).

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час

фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субституту, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (таблиця 4.20). Аналіз проведено експертним методом.

Таблиця 4.20 - Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
200000 грн	270000 грн	1000000 грн	290000 / 5000 грн

Наступним кроком визначено оптимальну систему збуту, в межах якої приймається рішення (таблиця 4.21):

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 4.21. Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Тендерні закупівлі	Безпосередній збут шляхом участі в тендерах	Прямий канал	Участь у тендерах

Останньою складовою розроблено концепцію маркетингових комунікацій (таблиця 4.22)

Таблиця 4.22 - Концепція маркетингових комунікацій

Канали комунікацій	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Тендерн і замовлення	Терміни виконання, застосовність в режимі реального часу, простота використання результатів	Відобразити переваги послуги	Акцент на переваги, орієнтація на вузьку аудиторію, діловий стиль

4.6 Висновки до розділу 4

Отже, за результатами проведеного аналізу можна зробити висновок, що ринкова комерціалізація товару можлива: попит наявний, ринок стрімко розвивається, при чіткому управлінні процесом проект буде рентабельним на ринку. З огляду на наступне:

- наявність двох основних потенційних груп клієнтів, які проявляють високу готовність до закупівлі послуги (за результатами моніторингу наявних тендерних замовлень);
- не суттєві бар'єри входження на ринок (здебільшого кадрова складова, яку на перших етапах можна обійти);
- не велику кількість конкурентів, чистий тип конкуренції;
- головні переваги послуги, які вигідно вирізняють цю пропозиції з-поміж аналогічних хороша конкурентноспроможність) – перспективи входження на ринок позитивні.

Для ринкової реалізації проекту пропонується орієнтація на вітчизняний ринок, зважаючи на сприятливі умови ринку та коротші строки реалізації проекту.

Подальша імплементація проекту необхідна, зокрема у питаннях підбору та навчання кваліфікованих інженерів та підготовки необхідної документації для участі в тендерних замовленнях.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Повністю безпечних і нешкідливих виробництв не існує, і завдання охорони праці - звести до мінімуму ймовірність нещасного випадку або захворювання працюючого з одночасним забезпеченням комфортних умов при максимальній продуктивності праці. Для вирішення цього завдання на всіх ділянках і стадіях виробництва здійснюється комплекс взаємопов'язаних організаційних, технічних, гігієнічних і соціально-економічних заходів щодо створення здорових і безпечних умов праці.

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно- технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Питання охорони праці враховуються при організації усіх виробничих процесів. Правова основа охорони праці базується на Конституції України, Законі України “Про охорону праці”. Найважливішим принципом державної політики в галузі охорони праці є пріоритет життя та здоров'я людини відносно трудової діяльності.

При експлуатації печі графітування мають місце потенційно шкідливі та небезпечні виробничі фактори, які при певних умовах можуть негативно впливати на стан здоров'я персоналу. До таких факторів належать:

- підвищена температура;
- відносна вологість та швидкість руху повітря робочої зони;
- підвищена температура поверхні обладнання ;
- підвищені рівні інфрачервоних випромінювань;
- недостатня або надмірна освітленість робочої зони;
- підвищена напруга в електричній мережі, замикання якої може відбутися через тіло людини;
- пожежна небезпека та інші.

Оскільки темою магістерської дисертації є «Температурні та енергетичні показники печей графітування за технологією Кастнера», що потребує застосування засобів обчислювальної техніки в процесі моделювання процесу графітації, то в даному розділі запропоновані технічні рішення та організаційні заходи щодо забезпечення безпечної експлуатації засобів обчислювальної техніки, а також технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії при виконанні науково-дослідної роботи. Крім того, в даному розділі визначені основні заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях.

5.1 Технічні рішення та організаційні заходи щодо безпечної експлуатації засобів обчислювальної техніки при виконанні науково-дослідної роботи

5.1.1 Особливості організації робочих місць в приміщенні науково-дослідної лабораторії та вимоги щодо безпечної експлуатації візуальних дисплейних терміналів персональних електро-обчислювальних машин (ВДТ ПЕОМ).

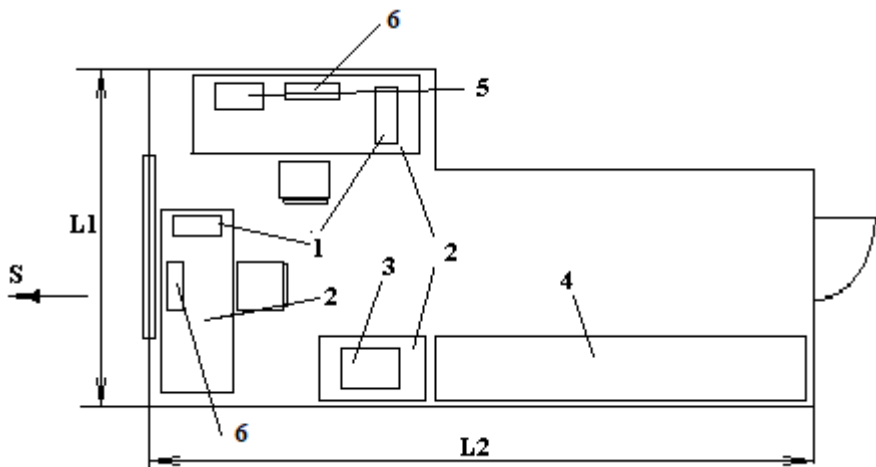
Вимоги до організації робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ в приміщенні науково-дослідної лабораторії:

а) ергономіка робочого місця, його розміри й взаємне розташування робочих місць повинні відповідати ергономічним вимогам і забезпечувати безпеку (ДСТУ ISO 9241:6-2004);

б) при проектуванні робочих місць варто передбачити виконання робіт сидячи або стоячи, при чергуванні сидячи й стоячи;

в) конструкція крісел повинна відповідати ергономічним вимогам. Оптимальне положення тіла працюючого забезпечується відповідною конструкцією робочого місця, а також регулюванням висоти робочої поверхні сидіння, простори й підставки для ніг.

Норми площі і об'єму повітря на одного працівника та на один комп'ютер описані в ДСанНіП 3.3.2-007-98 „Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин”. Згідно з ними на одне робоче місце необхідна лоща $S = 6 \text{ м}^2$, обсяг повітря $V = 20 \text{ м}^3$. На рисунку 5.1 показано схему лабораторії в якій проводилось дослідження.



1 - комп'ютер; 2 - стіл; 3 - ксерокс; 4 - шафа; 5 – принтер; 6 – монітор

Рисунок 5.1 – Схема науково-дослідної лабораторії

Приміщення має розміри:

$l = 5 \text{ м}$ – довжина;

$b = 3 \text{ м}$ – ширина;

$h = 2,8 \text{ м}$ – висота.

Отже, площа приміщення дорівнює $S = 15 \text{ м}^2$, а об'єм – $V = 42 \text{ м}^3$. У приміщенні 2 робочих місця (рисунок 5.1), тоді на одне робоче місце припадає площа $S = 7,5 \text{ м}^2$ та об'єм повітря $V = 21 \text{ м}^3$, тобто норми площі та об'єму згідно ДСанНіП 3.3.2-007-98 виконуються.

5.1.2 Електробезпека

Напруга в електромережі приміщення становить 220 В, струм змінний. Мережа трифазна, чотирипровідна, із заземленою нейтраллю. Розетки заземлені, які відповідають нормам ПУЕТ та НПАОП 0.00-1.28-10. Електропроводка прокладена в закритих ізолюючих жолобах під підлогою. Споживачами електроенергії є ПЕОМ, дисплеї, принтери, освітлювальні прилади.

Характеристика використовуваного устаткування за споживанням електроенергії:

- монітори Samsung C23A750X та Samsung SyncMaster 970P напруги 100-240 В, сили струму 1.2 А, частоти 85 Гц та 90 Гц відповідно;

- системний блок моделі IBM PC Pentium 4 напругою 220 В, частотою 50 Гц, силою струму 1 А;

- корпус моніторів оформлений пластмасою, що захищає користувача від можливої поразки струмом при дотику до корпусу. Те ж стосується принтерів та системних блоків. Для уникнення перегріву системного блоку та монітору вентиляційні отвори завжди не загороджені сторонніми предметами. Радіатори та труди центрального опалення закриті ізолюючими щитами, що виключає перегрів корпусу комп'ютера, навіть якщо він стоятиме близько до вікна.

За способом захисту людини від ураження електричним струмом згідно ГОСТ 12.2.007.0-75 блоки ПЕОМ та периферійні пристрої відносяться до I та II класів з електрозахисту.

Робоче приміщення відноситься до сухих, так як відносна вологість у приміщеннях не перевищує 60%.

За ступенем небезпеки ураження електричним струмом дане приміщення відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки, тому що в ньому відсутні умови, які створюють підвищену або особливу небезпеку:

- вологість;
- струмопровідний пил;
- хімічноактивне середовище;
- струмопровідна підлога;
- підвищена температура;
- можливість одночасного дотику до заземлених металоконструкцій будівлі з одного боку, та до металевих частин електрообладнання, з іншого боку.

ПЕОМ, дисплеї, принтери, освітлювальні прилади, електропроводи та кабелі за виконанням

та ступенем захисту відповідають класу зони за «Правилами використання електроустановок», мають апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів.

Робочі стенди виготовлені із спеціального матеріалу, що робить поразку електричним струмом людини, при дотику до них практично неможливим. Тобто, спеціальних заходів для електробезпеки застосовувати не потрібно.

В приміщенні розташовується 2 персональних ЕОМ, тому для прокладення трипровідникового захищеного проводу використано гнучкі металеві рукава та на помітному, доступному місці встановлено аварійний резервний вимикач. Таким способом реалізована електромережа штепсельних розеток для живлення персональних ЕОМ, периферійних пристроїв, електрочайника тощо. Самі розетки монтуються на негорючих пластинах з урахуванням вимог «Правил використання електроустановок» та Правил пожежної безпеки в Україні та виконані за магістральною схемою.

Заземлення відповідає вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 “Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів”.

Для протирання підлоги застосовують рідини, пара яких не утворює вибухопожежонебезпечних сумішей з повітрям та не викликає корозії контактів електричних з'єднань.

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом для даного приміщення є забезпечення недоступності струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, від випадкового дотику, організація безпечної експлуатації електронагрівальних приладів а також занулення устаткування з використанням автоматів струмового захисту. При наявності занулення замикання фази на корпус перетворюється в одноразове коротке замикання струму, від якого спрацьовує пристрій максимального струмового захисту і вимикає пошкоджений електроприлад. Так як в приміщеннях зберігаються горючі матеріали, то електрична проводка в приміщенні прихована під шаром штукатурки 2,5 см.

5.1.3 Розрахунок електромережі на вимикаючу здатність

Розрахунок електромережі на вимикаючу здатність включає знаходження величини струму короткого замикання (КЗ) і розрахунок номінального струму спрацювання пристрою максимального струмового захисту.

Вихідні дані для розрахунку:

- фазна напруга $U_{\phi}=220$ В;
- кабель трижильний, переріз однієї жили $S_{\phi} = 1,5$ мм², матеріал – алюміній $\rho = 0,031$ Ом · мм² / м;

– відстань від трансформатора до споживача $L=200$ м;

1) Активний опір фазного та нульового проводів відповідно, Ом

$$r_{\phi} = r_n = \frac{\rho \cdot L}{S_{\phi}}, \quad (5.1)$$

$$r_{\phi} = r_n = \frac{0,031 \cdot 200}{1,5} = 4,13 \text{ Ом}.$$

2) Струм однофазового КЗ знаходиться за формулою

$$I_{\text{КЗ}} = \frac{U_{\phi}}{r_{\phi} + r_n + r_U}, \quad (5.2)$$

де $r_U = 0,3$ Ом - розрахований опір трансформатора потужністю 250 Вт.

Тоді за формулою (5.2)

$$I_{\text{КЗ}} = \frac{220}{4,13 + 4,13 + 0,3} = 25,7 \text{ А}.$$

3) Номінальний струм спрацювання автомату струмового захисту розраховується за формулою

$$I_{\text{ном}} \leq \frac{I_{\text{КЗ}}}{K}, \quad (5.3)$$

де K – необхідна кратність струму КЗ до струму спрацювання автомату струмового захисту.

Тоді за формулою (5.3)

$$I_{\text{ном}} = \frac{25,7}{1,4} = 18,36 \text{ А}.$$

З розрахунків видно, що при однофазному КЗ номінальний струм спрацювання автомату захисту повинен бути менше 18 А (автомати, що використовуються у роботі повинні мати $I_{\text{ном}} = 15 \text{ А}$).

4) При однофазному КЗ нульовий провід і з'єднаний з ним корпус електроустаткування за час спрацювання максимального струмового захисту знаходяться під напругою $U_{\text{дот}}$ відносно землі

$$U_{\text{дот}} = I_{\text{КЗ}} \cdot r_n, \quad (5.4)$$

$$U_{\text{дот}} = 25,7 \cdot 4,13 = 106,141 \text{ В}.$$

Розрахована напруга $U_{\text{дот}} < U_{\text{дот.доп}}$ у відповідності з ГОСТ 12.1.038-88 при $t < 0,2$ с ($U_{\text{дот.доп}} = 250 \text{ В}$).

5.2 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії при виконанні науково-дослідної роботи

До основних факторів, що визначають стан санітарно-гігієнічних умов праці в науково-дослідній лабораторії відносяться наступні фактори:

- мікроклімат;
- склад повітря робочої зони;
- освітлення;
- шум;
- іонізуюче випромінювання;
- ергономіка,
- електромагнітне випромінювання,
- ультрафіолетове випромінювання.

5.2.1 Мікроклімат робочої зони

Норми мікроклімату у виробничих приміщеннях встановлені ДСН 3.3.6-042-99 – «Мікроклімат виробничих приміщень». Температура в теплий період року має становити 22-24 °С, відносна вологість 40 - 60% та швидкість руху повітря $< 0,2$ м/с. Період проведення аналізу приміщення припав на холодний період року, і норми для нього встановлено такі: температура 21-23 °С, вологість повітря 40-60% та швидкість руху повітря $< 0,1$ м/с.

Фактична температура в приміщенні дорівнює 22 °С, вологість повітря складає 45%, швидкість руху повітря 0,1 м/с, що відповідає нормам для 1б категорії робіт за енерговитратами.

У повітрі забруднень немає, лише є незначне забруднення пилом (від паперів, книг, одягу, зовнішнього повітря), що не перевищує середньодобової норми. У приміщенні щодня проводяться вологі прибирання. Також проводиться регулярна профілактика устаткування. Джерела токсичних газів відсутні, а вуглекислий газ, що утворюється від подиху людей, видаляється приливно-витяжною вентиляцією.

5.2.2 Природне освітлення

В робочих приміщеннях застосовують штучне та природне освітлення, нормоване відповідно до вимог ДБН.В.2.5-28-2006 «Природне та штучне освітлення. Норми проектування».

У приміщенні використовується система однобічного природного бічного освітлення.

Нормоване значення коефіцієнту природного освітлення залежить від розряду робіт, виду системи природного освітлення (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1 – Визначення коефіцієнта світового клімату

Світлові прорізи	Орієнтація світлових прорізів за сторонами світла	Коефіцієнт світового клімату, m
В зовнішніх стінах будинків	Пд	0,95

Нормоване значення коефіцієнту природного освітлення КПО, %, обчислюємо за формулою

$$e_p = e_n \cdot m_N, \quad (5.5)$$

де e_n - коефіцієнт природного освітлення для розрахункового поясу світлового клімату;

m_N - коефіцієнт світового клімату.

Тоді згідно з формулою (5.5)

$$e_p = 1,2 \cdot 0,95 = 1,14\%.$$

Природне освітлення оцінюється за відносним показником – коефіцієнтом природної освітленості (КПО), %

$$КПО = \frac{E_{вн} \cdot 100}{E_{зов}}, \quad (5.6)$$

де $E_{зов}=10000$ (лк) — зовнішня горизонтальна освітленість в похмуру погоду;

$E_{вн} = 70$ лк - природна освітленість на клавіатурі.

Тоді

$$КПО = \frac{70 \cdot 100}{10000} = 0,7\%.$$

Даний показник освітленості не задовольняє нормам, тому вдень в похмуру погоду рекомендовано застосовувати сумісне освітлення робочого місця.

5.2.3 Штучне освітлення

У вечірній час та в похмуру погоду у приміщенні використовується система штучного освітлення.

Приміщення освітлюється з семи світильників типу ЛДОР, відношення довжини яких до відстані від світильника до контрольної точки перевищує 0,2 (тобто джерело світла лінійне), освітленість визначають за методом лінійних ізолюкс.

Розрахункова кількість ламп, необхідних для нормального освітлення приміщення

$$N_p = \frac{E_{об} \cdot K_3}{\Phi_{л}} \cdot \frac{S \cdot Z}{n \cdot \eta}, \quad (5.7)$$

де $E_{об} = 500$ лк - нормована мінімальна освітленість;

N_p – кількість світильників у ряду;

n - кількість ламп у світильнику, $n = 2$;

$\Phi_{л}$ - світловий потік лампи (або сумарний світовий потік ламп в багатолампових освітлювачах), лм;

K_3 — коефіцієнт запасу, враховує зниження світлопропускання вікон і середовища у приміщенні, $K_3 = 1,2-1,5$;

η – коефіцієнт використання світлового потоку;

$Z = 1,1$ – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

S - площа приміщення, що освітлюється, m^2 .

Для люмінісцентних ламп типу ЛДОР, встановлених в освітлювачах, середній світловий потік 1 лампи дорівнює 2600 лм.

Визначимо індекс приміщення, що залежить від його геометричних розмірів за формулою

$$i = \frac{l \cdot b}{h \cdot l + b}; \quad (5.8)$$

$$i = \frac{5 \cdot 3}{2,8 \cdot 5 + 3} = 0,67.$$

Беремо, що в лабораторії встановлені світильники типу «ЛДОР» з коефіцієнтами відбиття від стелі $\rho_{п} = 70\%$, стін $\rho_{с} = 50\%$ і розрахункової поверхні $\rho_{р} = 10\%$. Тоді за даними [29] величина $\eta = 0,302\%$.

Тоді згідно з формулою (5.7) розрахункова кількість ламп для нормального освітлення приміщення

$$N_p = \frac{500 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,1}{2 \cdot 2600 \cdot 0,302} = 6,3 \approx 7.$$

На рисунку 5.2 зображена стеля приміщення з розташованими на ній світильниками.

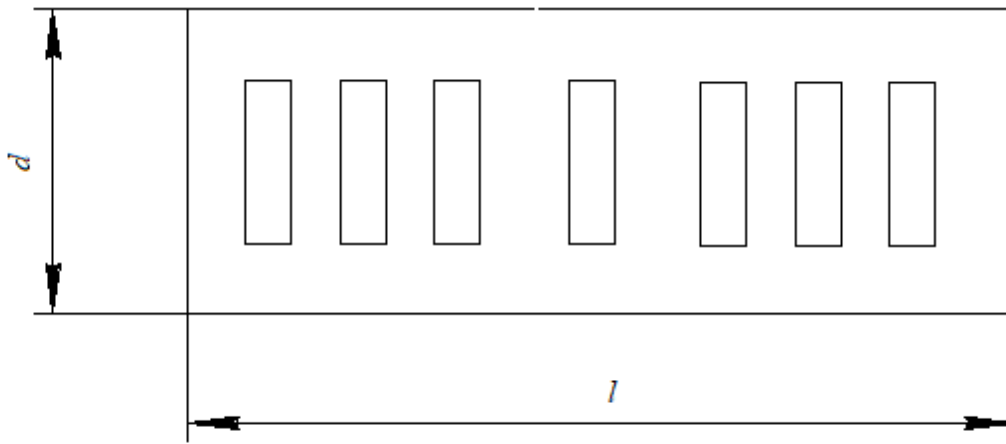


Рисунок 5.2 – Розміщення світильників на стелі приміщення

Виходячи з кількості необхідних світильників розраховуємо освітленість та порівнюємо її з нормами

$$E_{об} = \frac{\Phi_{л}}{K_3} \cdot \frac{N_p \cdot n \cdot \eta}{S \cdot Z} ; \quad (5.9)$$

$$E_{об} = \frac{2600 \cdot 7 \cdot 2 \cdot 0,302}{15 \cdot 1,2 \cdot 1,1} = 555,19 \text{ лк} .$$

Враховуючи нормовану мінімальну освітленість $E_{об} = 500 \text{ лк}$ видно, що в даному випадку освітленість задовільняє нормам.

5.2.4 Вимоги до припустимого вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично припустимих концентрацій (ГДК), використовуваних при проектуванні виробничих будинків, технологічних процесів, устаткування, вентиляції, для контролю за якістю виробничого середовища й профілактики несприятливого впливу на здоров'я працюючих.

Вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони підлягає систематичному контролю для попередження можливості перевищення гранично припустимих концентрацій – максимально разових робочої зони (ГДК_{мр.рз}) і середньозмінних робочої зони (ГДК_{сс.рз}).

Атмосферне повітря, що перебуває в приміщенні, де виконувалася робота, не містить шкідливих речовин і має склад (у відсотках за об'ємом):

- азоту - 78.08;
- кисню - 20.95;
- аргону, неону й ін. інертних газів - 0.93;
- вуглекислого газу - 0.03;
- інших газів - 0.01.

При одночасному вмісті в повітрі робочої зони декількох шкідливих речовин різнонаправленої дії ГДК залишаються такими ж, як і при ізольованому впливі.

При одночасному вмісті в повітрі робочої зони декількох шкідливих речовин односпрямованої дії (за висновком органів державного санітарного нагляду) сума відношень фактичних концентрацій кожного з них ($K_1, K_2 \dots K_n$) у повітрі до їх ГДК ($ГДК_1, ГДК_2 \dots ГДК_n$) не повинна перевищувати одиниці

З огляду на наявність в приміщенні ксерокопіювального апарату в повітрі будуть знаходитися сторонні гази. Їх концентрація та агрегатний стан приведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Шкідливі речовини, що виділяються внаслідок роботи ксерокса

Технічний процес	Найменування шкідливої речовини	ГДК, мг/м ³	Фактична концентрація, мг/м ³	Агрегатний стан
Робота на ксероксі	оксид азоту	0,5	0,4	пара
	озон	0,1	0,25	пара
	пил	0,6	0,5	пил

Шкідливі речовини мають різнонаправлену дію, тому їх вплив можна розглядати відособлено. Концентрація озону перевищує норму, тому рекомендовано організувати додатковий повітрообмін повітря для нормалізації концентрації шкідливих речовин.

5.2.5 Розрахунок природної вентиляції щодо її відповідності існуючим санітарним вимогам

При дослідженні достатності вентиляції в адміністративно-управлінських приміщеннях слід мати на увазі, що відповідно до ДБН 3.2.5-28-2006 об'єм виробничого приміщення, яке доводиться на одного працюючого, повинен складати не менше 40 м³. Інакше для нормальної роботи в приміщенні необхідно забезпечити постійний повітрообмін за допомогою вентиляції не менше ніж $L_1=30$ м³/год на кожного працюючого. Таким чином, потрібний повітрообмін L_n , м³/год, розраховується за формулою

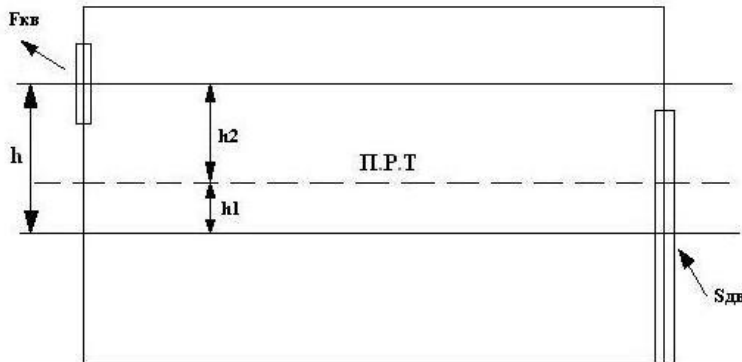
$$L_n = L_1 \cdot n, \quad (5.10)$$

де $n = 4$ – найбільша можлива кількість працюючих у приміщенні.

Тоді отримаємо

$$L_H = 30 \cdot 4 = 120 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

На рисунку 5.3 наведено схему утворення теплового тиску.



П.Р.Т. – площина рівних тисків; $F_{\text{кв}}$ – площа квартирки, м^2 ; $s_{\text{дв}}$ – площа дверей, м^2 , h_1 – відстань від площини рівних тисків до середини дверей, м; h_2 – відстань від площини рівних тисків до середини квартирки, м.

Рисунок 5.3 – Схема утворення теплового тиску

Фактичне значення повітрообміну визначається за формулою

$$L_{\phi} = \mu \cdot F_{\text{кв}} \cdot V \cdot 3600, \quad (5.11)$$

де $\mu = 0,5$ – коефіцієнт витрати повітря;

$F_{\text{кв}}$ – площа квартирки ($F_{\text{кв}} = 1,4 \cdot 0,75 = 1,05 \text{ м}^2$);

V – швидкість виходу повітря через квартиру або вентиляційний канал, м/с, яка розраховується за формулою

$$V = \sqrt{\frac{2g \cdot \Delta H_2}{\rho}}, \quad (5.12)$$

де $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

ΔH_2 – тепловий тиск, під дією якого буде виходити повітря з квартирки, Па;

ρ_c – густина повітря, $\text{кг} / \text{м}^3$.

$$\Delta H_2 = h_2 \cdot \rho_z - \rho_{\text{вн}}, \quad (5.13)$$

де ρ_z , $\rho_{\text{вн}}$ – відповідно густина повітря ззовні приміщення та всередині його, кг/м^3 ;

h_2 – відстань від площини рівних тисків до середини квартирки, м.

Густина повітря розраховується за формулою

$$\rho_c = \frac{0,465}{T} \cdot P_6 \quad (5.14)$$

де $P_6 = 750 \text{ мм.рт.ст}$ – барометричний тиск;

T – температура повітря в К (для теплого періоду року у приміщенні $t = 22^\circ\text{C}$, або $T = 295 \text{ К}$, для холодного періоду року $t = 21^\circ\text{C}$ або $T = 294 \text{ К}$; ззовні приміщення для літа $t = 24^\circ\text{C}$ або

$T=297\text{ К}$, для зими $t=-22^{\circ}\text{C}$, або $T=251\text{ К}$ (згідно з ДБН В. 2.5 -67:2013 «Опалення вентиляція та кондиціювання»).

Тоді густина повітря у приміщенні:

$$\rho_{\text{в}}(\text{л}) = 0,465 \cdot \frac{750}{295} = 1,18 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{\text{в}}(\text{з}) = 0,465 \cdot \frac{750}{294} = 1,19 \text{ кг/м}^3.$$

Густина повітря ззовні приміщення:

$$\rho_{\text{в}}(\text{л}) = 0,465 \cdot \frac{750}{297} = 1,17 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{\text{в}}(\text{з}) = 0,465 \cdot \frac{750}{251} = 1,39 \text{ кг/м}^3.$$

Знайдемо h_2 із співвідношень [30] .

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{F_{\text{кв}}^2}{S_{\text{ог}}^2};$$

$$h = 0,8 + \frac{1,4}{2} \text{ м};$$

$$F_{\text{кв}}^2 = 1,05 \cdot 2 = 1,1025 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{ог}}^2 = 2 \cdot 0,8 \cdot 2 = 2,56 \text{ м}^2.$$

Розв'яжемо систему

$$\begin{cases} h_1 + h_2 = h \\ \frac{h_1}{h_2} = \frac{F_{\text{кв}}^2}{S_{\text{ог}}^2} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} h_1 + h_2 = 1,1 \\ \frac{h_1}{h_2} = \frac{1,1025}{2,56} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} h_1 = 1,1 - h_2 \\ 1,1 - h_2 = 0,431 \cdot h_2 \end{cases} \rightarrow$$

$$\rightarrow \begin{cases} h_1 = 1,1 - h_2 \\ 1,431 \cdot h_2 = 1,1 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} h_2 = 0,8 \text{ м} \\ h_1 = 0,3 \text{ м} \end{cases}.$$

Звідси тепловий тиск, під дією якого буде виходити повітря з квартирки, за (5.5)

$$\Delta H_2(\text{л}) = 0,8 \cdot 1,17 - 1,18 = 0,008;$$

$$\Delta H_2(\text{з}) = 0,8 \cdot 1,39 - 1,19 = 0,16.$$

Тоді швидкість виходу повітря за (5.4)

$$V(\text{л}) = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,8 \cdot 0,008}{1,18}} = 0,37 \text{ м/с};$$

$$V(\text{з}) = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,8 \cdot 0,16}{1,19}} = 1,62 \text{ м/с}.$$

Знайдемо фактичне значення повітрообміну за (5.3)

$$L_{\text{фл}} = 0,55 \cdot 0,7 \cdot 0,37 \cdot 3600 = 512,82 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$L_{фз} = 0,55 \cdot 0,7 \cdot 1,62 \cdot 3600 = 2245,32 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Оскільки фактичне значення повітрообміну значно перевищує нормативне значення як взимку, так і влітку, то природна вентиляція(аерація) ефективна.

5.2.6 Вимоги з ергономіки до організації робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ

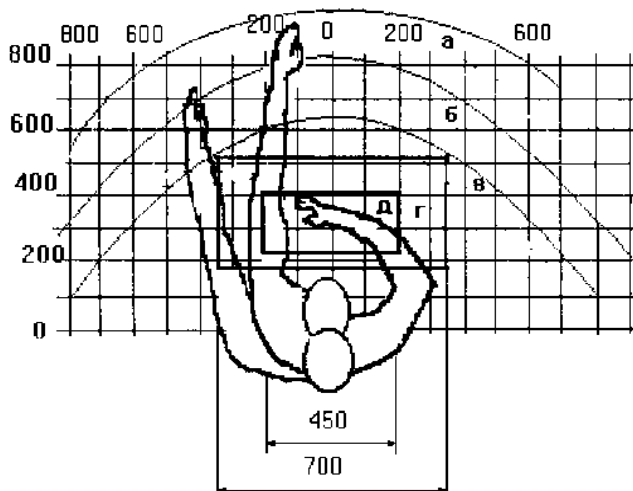
Робоче місце - це частина простору, в якому інженер здійснює трудову діяльність, і проводить велику частину робочого часу. При правильній організації робочого місця продуктивність праці програміста зростає з 8 до 20 %. Розглянемо питання та заходи з ергономіки.

Згідно ГОСТ 12.2.032-78 та (ДСТУ ISO 9241:6-2004) конструкція робочого місця і взаємне розташування всіх його елементів повинне відповідати антропометричним, фізичним і психологічним вимогам.

Велике значення має також характер роботи. Зокрема, при організації робочого місця дослідника повинні бути дотримані наступні основні умови, крім попередньо згаданих:

- оптимальне розміщення устаткування, що входить до складу робочого місця;
- достатній робочий простір, що дозволяє здійснювати всі необхідні рухи і переміщення;

Головними елементами робочого місця дослідника є письмовий стіл і крісло. Основним робочим положенням є положення сидючи. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидючи організується відповідно до ГОСТ 12.2.032-78 (рисунок 5.4).



а - зона максимальної досяжності; б - зона досяжності пальців при витягнутій руці; в - зона легкої досяжності долоні; г - оптимальний простір для грубої ручної роботи; д - оптимальний простір для тонкої ручної роботи

Рисунок 5.4 – Зони досяжності рук в горизонтальній площині

Розглянемо оптимальне розміщення предметів праці і документації в зонах досяжності рук:

- дисплей розміщається в зоні *a* (у центрі);
- клавіатура - у зонах *г* / *д*;
- системний блок розміщається в зоні *б* (зліва);
- принтер знаходиться в зоні *а* (праворуч);
- документація:
 - в зоні легкої досяжності долоні - *в* (ліворуч) - література і документація, необхідна при роботі;
 - у висувних ящиках столу - література, якою використовується не постійно.

Параметри робочого місця вибираються відповідно до антропометричних характеристик. При використанні цих даних у розрахунках варто виходити з максимальних антропометричних характеристик (рисунок 5.5).

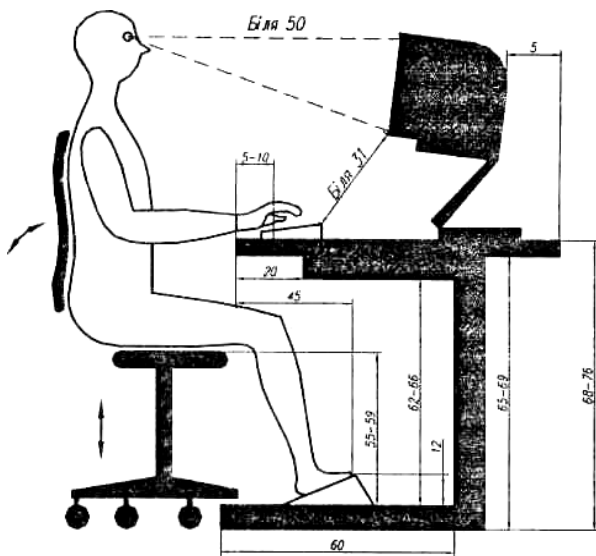


Рисунок 5.5 - Оптимальні метричні параметри робочого місця (мм)

5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Безпека в надзвичайних ситуаціях регламентується ПЛАС (план локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій). Основними складовими ПЛАС є розробка технічних рішень та організаційних заходів ліквідації наслідків та локалізації аварійних ситуацій, а також технічних рішень та організаційних заходів щодо оповіщення, евакуації та дій персоналу у разі виникнення надзвичайних ситуацій (НС).

5.3.1 Технічні рішення та організаційні заходи щодо організації ефективної роботи системи оповіщення персоналу у разі виникнення надзвичайних ситуацій

Для підвищення безпеки в надзвичайних ситуаціях (НС) пропонується встановлення системи оповіщення (СО) виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу у разі виникнення НС здійснюється відповідно до вимог НАПБ А.01.003-2009.

При обладнанні виробничих будівель системою оповіщення, їх необхідно поділяти на зони оповіщування з урахуванням об'ємно-планувальних рішень будинків, шляхів евакуації, поділення на протипожежні відсіки тощо, а також з урахуванням вимог, що наведені в примітці 1 таблиці Е.1 додатка Е до ДБН В.1.1-7-2002.

Як правило, СО вмикається автоматично від сигналу про пожежу, який формується системою пожежної сигналізації або системою пожежогасіння. Також з приміщення оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) слід передбачати можливість запуску СО вручну, що забезпечує надійну роботу СО не тільки при пожежі, а і у разі виникнення будь-якої іншої НС.

Згідно з вимогами ДБН В.1.1-7-2002 необхідно забезпечити можливість прямої трансляції мовленнєвого оповіщення та керівних команд через мікрофон для оперативного реагування в разі зміни обставин або порушення нормальних умов евакуації виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу про НС здійснюється за допомогою світлових та/або звукових оповіщувачів - обладнуються всі виробничі приміщення.

Текст оповіщення людей про НС повторюється безперервно протягом всього часу евакуації людей. Перед подачею мовного повідомлення повинен подаватись сигнал привертання уваги.

Кількість звукових та мовленнєвих оповіщувачів, їх розміщення та потужність повинні забезпечувати необхідний рівень звуку в усіх місцях постійного або тимчасового перебування виробничого персоналу.

У місцях, де є небезпека механічного ушкодження оповіщувачів, повинен бути забезпечений їх захист, що не порушує працездатності оповіщувачів.

Настінні звукові та мовні оповіщувачі кріпляться на висоті не менше 2,2 м від підлоги, при цьому відстань від стелі до оповіщувача повинна становити не менше 150 мм.

Допускається використовувати евакуаційні світлові покажчики, що автоматично вмикаються при отриманні СО командного імпульсу про початок оповіщення про НС та аварійному припиненні живлення робочого освітлення.

Електропостачання, заземлення, занулення, вибір та прокладання мереж оповіщення приймаються згідно з вимогами до систем пожежної сигналізації за ДБН В.2.5-56:2014.

Електропостачання СО здійснюється за I категорією надійності згідно з "Правилами влаштування електроустановок" (ПУЕ) від двох незалежних джерел енергії: основного - від мережі змінного струму, резервного - від акумуляторних батарей тощо.

Тривалість роботи СО від резервного джерела енергії у черговому режимі має бути не менш 24 годин.

Звукові оповіщувачі повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 54-3:2003 "Системи пожежної сигналізації. Частина 3. Оповіщувачі пожежні звукові".

Звукові сигнали СО повинні забезпечувати загальний рівень звуку не менше 75 дБ на відстані 3 м від оповіщувача, але не більше 120 дБ у будь-якій точці виробничого приміщення. При цьому для забезпечення чіткої чутності звукові сигнали СО повинні забезпечувати рівень звуку не менше ніж на 15 дБ вище допустимого рівня звуку постійного шуму у захищуваному приміщенні. Вимір проводиться на висоті 1,5 м від підлоги.

5.3.2 Обов'язки та дії персоналу і населення при НС

У разі виявлення ознак пожежі працівник, який їх помітив, повинен:

- негайно повідомити про це засобами зв'язку органи ДСНС вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, а також своє прізвище;
- повідомити про пожежу керівника, адміністрацію, пожежну охорону підприємства;
- організувати оповіщення людей про пожежу;
- вжити заходів щодо евакуації людей та матеріальних цінностей;
- вжити заходів щодо ліквідації пожежі з використанням наявних засобів.

Керівник та пожежна охорона установи, яким повідомлено про виникнення пожежі, повинні:

- перевірити, чи викликані підрозділ ДСНС та Державна пожежна охорона;
- вимкнути у разі необхідності струмоприймачі та вентиляцію;
- у разі загрози життю людей негайно організувати їх евакуацію та їх рятування, вивести за межі небезпечної зони всіх працівників, які не беруть участь у ліквідації пожежі;
- забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь у ліквідації пожежі;
- організувати зустріч підрозділів ДСНС та Державної пожежної охорони, надати їм допомогу у локалізації та ліквідації пожежі.

Після прибуття на пожежу підрозділів ДСНС повинен бути забезпечений безперешкодний доступ їх до місця, де виникла пожежа.

5.3.3 Пожежна безпека

Можливими причинами пожежі в приміщенні є несправності електроустаткування, коротке замикання в системі електроживлення, а також порушення протипожежного режиму (використання побутових нагрівальних приладів, паління).

Електричні кабелі електроустаткування вибираються по струмовим навантаженням та з використанням важкозаймистої ізоляції $r_{із} = 1 \text{ кОм/В}$.

Електропроводка має бути прокладена в захисних коробах з матеріалів, що не згорають.

У електричних схемах електроустаткування передбачений захист від короткого замикання (автомати струмового захисту). У приміщенні підтримується температура набагато нижче за температуру самозаймання речовин, що знаходяться в даному приміщенні.

Технічні рішення системи протипожежного захисту спрямовані на обмеження поширення пожежі, захист людей (у першу чергу) і матеріальних цінностей.

Приміщення має бути обладнане первинними засобами пожежогасіння (вогнегасник ОП - порошковий). При пожежі в електроустановках, що знаходяться під напругою (клас пожежі «Е»), рекомендується застосовувати порошки типу СІ, що являють собою зерна силікагелю, насичені галоїдвуглецевими рідинами. Також згідно з ДСТУ 3675-98 використовуються вуглекислотні вогнегасники типу ОУ-8, призначені для гасіння пожежі, що виникла в електроустановках, що знаходяться під напругою (тривалість випуску заряду близько 15 с, довжина струменя 4 м, дозволяють вести гасіння без відключення установки). Кількість, розміщення та умови зберігання вогнегасників мають відповідати нормативним вимогам.

Має бути працездатний пожежний зв'язок і електропожежна сигналізація яка, відповідно до вимог ДБН В.2.5-56:2014, має сповіщати про виникнення пожежі і забезпечувати оперативне керування пожежними командами під час пожежі. Електрична пожежна сигналізація складається з оповіщувачів, встановлених у приміщенні і підключених до прийомної станції з живленням від мережі змінного струму напругою 220 В. Передбачений також протипожежний водопровід. Згідно ДБН В.1.1-7-2002 межа вогнестійкості будинку має складати 0,5 години. Евакуаційним виходом із приміщення є дверний проріз, що веде в коридор, з якого є два виходи з будівлі. В цьому ж коридорі знаходиться пожежний щит, у якому мають бути лопата, сокира, відро, багор.

В архітектурно-планувальних рішеннях будівлі мають бути передбачені евакуаційні виходи, в тому числі аварійні. Двері приміщення повинні відкриватися назовні, ширина дверей не менше 0,8 м, висота - не менше 2 м, ширина коридору – 2 м.

5.4 Висновки до розділу 5

В даному розділі запропоновані технічні рішення та організаційні заходи щодо забезпечення безпечної експлуатації засобів обчислювальної техніки, а також технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії при виконанні науково-дослідної роботи. Проведено розрахунок електромережі на вимикаючу здатність.

Проведено розрахунок природнього освітлення, встановлено, що показник освітленості не задовольняє нормам, тому вдень в похмуру погоду рекомендовано застосовувати сумісне освітлення робочого місця.

За результатами рорахунку штучного освітлення встановлено, що наявні 7 світильників забезпечують необхідну освітленість приміщення.

Проведено розрахунок природньої вентиляції, встановлено, що фактичне значення повітрообміну значно перевищує нормативне значення як взимку, так і влітку, то природна вентиляція(аерація) ефективна.

Крім того, в даному розділі визначені основні заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

Головний результат дисертаційної роботи – вирішенн важливої науково-технічної задачі створення наукових засад з розробки ефективних процесів і вдосконаленн конструкцій пічного обладнанн та регламентів його експлуатації під час процесу графітування великогабаритної електродної продукції в печах прямого нагріву Кастнера, які дають змогу визначти раціональні технічні рішення та підвищити якість готової продукції за мінімальних матеріальних та людських ресурсів, що сприяє ресурсо- та енергозбереженню в електродній промисловості.

1. На підставі літературного огляду стану питання експериментального дослідження і математичного моделювання процесу та обладнання для графітування електродних заготовок обґрунтовано доцільність використання числового моделювання спільно з вибіровими (окремими) фізичними експериментами для розробки раціональних конструкцій та регламентів експлуатації печей прямого графітування за методом Кастнера. Управління процесом графітації ведеться по заздалегідь заданій витраті електроенергії або по зміні питомого електроопору. Найбільш правильно було б управляти процесом графітації і визначати кінець кампанії по вимірюваній температурі в керна печі. Для оперативного управління процесом графітації в промислових умовах необхідно мати у своєму розпорядженні зручні для практичного користування безрозмірні рівняння, що дозволяють при відомих технологічних параметрах (кількість і розміри заготовок; кількість і властивості теплоізоляції і пересипання) для будь-якого часу і величини підведеної енергії визначати температуру заготовок

2. Проаналізовано схему завантаження електродних заготовок, схему встановлення експериментальних датчиків, методику експериментальних досліджень та проведено аналіз експериментальних досліджень теплоелектричного стану промислової печі Кастнера під час кампанії графітування електродних заготовок діаметром 435 мм.

3. Встановлено, що в процесі нагрівання заготовок частка акумульованої теплоти спочатку зменшується (в період випаровування води з теплоізоляції), потім збільшується до досягнення максимальних температур заготовок або максимальних значень потужності, що підводиться, і знову зменшується до кінця кампанії.

4. В результаті розрахунків втрат теплоти, що підводиться до печі графітації отримано, що найбільш істотними є її витрати на нагрів конструкційних матеріалів печі (44,85%), теплоізоляційної шихти (33,72%) та втрати з газами, що виходять з печі (11,68%).

5. Розроблена методика оперативного визначення середньомасової температури заготовок печей Кастнера в режимі реального часу, в якій враховані корисні витрати енергії на нагрівання заготовок з урахуванням її втрат до входу в піч; паразитні витрати енергії на прямий нагрів теплоізоляції, компенсаційної вставки та струмовідводу; витрати на нагрів та випаровування води з теплоізоляції, втрати з поверхні заготовок в навколишнє середовище; витрати енергії на ендотермічну реакцію газифікації.

6. Отримані температурні залежності ефективного коефіцієнта теплопередачі від поверхні заготовок через шар теплоізоляції в навколишнє середовище і ефективного коефіцієнта пропорційності,

що враховує витрати активної електричної енергії на прямий нагрів теплоізоляції, компенсаційної вставки та струмовідводу.

7. Співставлення результатів розрахунків для однієї з кампаній печі Кастнера з чисельним моделюванням механічного та теплоелектричного стану печі показало, що розроблена методика може бути рекомендована для практичного використання при розробці АСУ процесу графітації в печах Кастнера.

8. Розроблена 3D модель печі графітації за технологією Кастнера в програмному забезпеченні SolidWorks. Проаналізувавши результати фізичного моделювання, проведеного за допомогою модуля FlowSimulation, робимо висновок, що отриманий розподіл температур, з фізичної точки зору, відповідає очікуваним результатам.

9. В магістерській дисертації розроблений стартап-проект. Було висвітлено головну ідею проекту, шляхи її реалізації та наявність технологій. Ринкова комерціалізація товару можлива: попит наявний, ринок стрімко розвивається, при чіткому управлінні процесом проект буде рентабельним на ринку. Проведено аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту. Розроблена ринкова стратегія об'єкту та маркетингова програма стартап-проекту.

10. В розділі охорони праці запропоновані технічні рішення та організаційні заходи щодо забезпечення безпечної експлуатації засобів обчислювальної техніки, а також технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії при виконанні науково-дослідної роботи. Проведено розрахунок природнього освітлення. Також визначені основні заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кузнецов Д. М. Процесс графитации углеродных материалов. Современные методы исследования [Текст]: монография / Д. М. Кузнецов, В. П. Фокин. — Новочеркасск : ЮРГТУ, 2001. — 132 с.
2. Чалых Е. Ф. Оборудование электродных заводов [Текст]: учеб. пособие [для вузов] / Е. Ф. Чалых. — М. : Metallurgiya, 1990. — 238 с.
3. Кузнецов Д.М., Фокин В.П. Процесс графитации углеродных материалов. Современные методы исследования [Текст]: монография / Д.М.Кузнецов, В.П.Фокин. — Новочеркасск : ЮРГТУ, 2001. — 132с.
4. Фиалков А.С. Углерод, межслоевые соединения и композиты на его основе [Текст] / Абрам Самуилович Фиалков. — М.: Аспект Пресс, 1997. - 718с.
5. Тарасевич М.Р. Электрохимия углеродных материалов [Текст] / Михаил Романович Тарасевич. — М.: Наука, 1984. — 253с.
6. Чалых Е.Ф. Технология и оборудование электродных и электроугольных предприятий [Текст] / Евгений Федорович Чалых. — М.: Metallurgiya, 1972. — 432с.
7. Чалых Е.Ф.Технология углеграфитовых материалов [Текст] / Евгений Федорович Чалых. — М.: Metallurgizdat, 1963. — 304с.
8. Усовершенствование технологии обжига электродных материалов [Текст] / В.П.Фокин, А.А.Малахов, С.А.Малахов [и др.]. — М. : Цветные металлы, 2002. — №4, 4с.
9. Фиалков А.С. Углеграфитовые материалы [Текст] / Абрам Самуилович Фиалков. — М.: Энергия, 1979. — 320с.
10. Соседов В.П., Чалых Е.Ф. Графитация углеродистых материалов [Текст] / В.П.Соседов, Е.Ф.Чалых. — М.: Metallurgiya, 1987. — 187с.
11. Производство электродной продукции [Текст] / А.К.Санников, А.Б.Сомов, В.В.Ключников [и др.]. — М.: Metallurgiya, 1985. — 129с.
12. Санников А.К. Принцип управления формирования структуры и свойств графитированных электродов [Текст] / Александр Константинович Санников. — М.: Цветные металлы, 1990. — №9, 4с.
13. Сасин А.Г. Реконструкция токопроводящего перехода сдвоенной печи графитации [Текст] / А.Г.Сасин, Я.В.Метелица, Н.П.Стоячко. — М.: Цветные металлы, 1980. — №8, 3с.

14. А.с. 1755025 СССР. Способ укрытия теплоизоляционной шихты печи графитации [Текст] / П.П.Сапко, В.П.Овсянников. – М.: Открытия. Изобретения, 1992 – №30, 50с.

15. Касаточкин В. И. Структурная химия углерода и углей [Текст] / В. И. Касаточкин — М : Академиздатцентр «Наука» РАН, 1969. — 307 с.

16. Левашова А. И., В.А.Кравцов. Химическая технология углеродных материалов [Текст] : Учебное пособие / А. И. Левашова, А. В. Кравцов. — Томск : Изд-во ТПУ, 2008. — 112 с.

17. Электротермические процессы химической технологии [Текст]: Учебное пособие для вузов / Под редакцией В.А.Ершова. – Л.: Химия, 1984. – 464с.

18. А.с. 1350110 СССР. Способ укладки электродных заготовок в печи графитации [Текст] / В.Ю. Знамеровский, В.А. Коцюр, Д.М.Кузнецов. – М.: Открытия. Изобретения, 1987 – №41, 25с.

19. Термическое напряжение в цилиндрических заготовках при графитации [Текст] : Конструкционные материалы на основе углерода. Тематический отраслевой сб. тр. №10 / Николаев Н.Н., Ганзен А.Г., Китова В.А. [и др.]. – М.: Металлургия, 1975. – №10, 10с.

20. Перевезенцев В.П. Совершенствование существующих и разработка новых технологий графитации углеродных материалов [Текст] : Автореферат дис. / В.П.Перевезенцев – М., 1999. – 75с.

21. Знамеровский В.Ю. Некоторые технологические аспекты, определяющие энергоемкость передела графитации [Текст] : Повышение качества и эксплуатационной стойкости углеродной продукции. Тез. докл. и сообщ. V Всесоюзной научно-технической конференции электродной промышленности. / В.Ю. Знамеровский, В.В. Яшкина, Г.В. Сандер. – Челябинск, 1983. – 4с.

22. Чичулин Н.И. Исследование режимов нагревания электродных заготовок при графитации [Текст] : Совершенствование технологии и улучшение качества электродной продукции. / Чичулин Н.И., Соседов В.П., Чалых Е.Ф. – Челябинск: ГосНИИЭП, 1974 – №6, 6с.

23. Знамеровский В. Ю. Математическое моделирование процесса графитации [Текст] / В. Ю. Знамеровский. — М. : Металлургия, 1994. — 64 с.

24. Жученко А. І. Керування процесом графітації при виробництві електродної продукції [Текст] : монографія / А.І.Жученко, М.В.Коржик, С.В.Кутузов. — К.: НТУУ «КПІ», Вид. дім «Києво-Могилянська академія», 2013. — 224 с.

25. Расчетно-экспериментальное определение температурных полей керна в П-образных печах графитации постоянного тока [Текст] / Е.Н. Панов, С.В. Кутузов, С.В. Лелека [и др.]. — К.: Промышленная теплотехника, 2007. — Том 29, №2, 6с.

26. Панов Е.Н. Методика оперативного определения среднемассовой температуры керна печи графитирования Ачесона [Текст] / Е.Н. Панов, А.Я. Карвакий, С.В. Лелека [и др.]. — К.: Восточно-европейский журнал передовых технологий, 2015. —№ 3, 5с.

27. . Franklin R. E. The structure of graphitic carbons / R. E. Franklin. — Acta Crystallographica, 1951. — Vol. 4, 9p.

28. Розроблення стартап-проекту : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей [Текст] / За заг. ред. О.А. Гавриша. — Київ : НТУУ «КПІ», 2016. — 28 с

29. Охрана труда в машиностроении [Текст] / Е.Я. Юдин, С.В. Белов, С.К. Баланцев [и др.]; под ред. Е.Я. Юдина, С.В.Белова. — М.:Машиностроение, 1983 - .

30. Методическое пособие для выполнения расчетов по охране труда в дипломных проектах [Текст] — НГТУ : Н.Новгород, 2001. — 62с.

Додаток А

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан теплоенергетичного
факультету КПІ
ім. Ігоря Сікорського

_____ Є.М.Письменний

«___» _____ 20__ р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. директора НДЦ
«Ресурсозберігаючі технології»
КПІ ім. Ігоря Сікорського

_____ А.Я.Карвацький

«___» _____ 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ на науково-дослідну роботу

«Температурні та енергетичні показники печей графітування за технологією
Кастнера»

1. Термін виконання роботи

Початок – 1.09. 2016 р.
Закінчення – 12.05. 2018 р.

2. Обґрунтування для виконання роботи

Завершальною стадією при виробництві штучного графіту, який знайшов широке застосування в багатьох галузях промисловості, є процес графітування, сутність якого полягає в високотемпературній обробці виробів до 2500 – 3000 оС в спеціальних графітувальних електричних однофазних печах опору за двома технологіями: Ачесона і Кастнера. Опором є матеріали, що графітуються, через які протікає електричний струм, нагріваючи їх. При цьому в малих об'ємах печі можливо сконцентрувати велику кількість енергії, яка виділяється при проходженні електричного струму, що дозволяє створити вказані вище температури .

За технологією Ачесона нагрівання вугільних заготовок здійснюється теплопровідністю і випромінюванням від графітової пересипки, яка міститься в просторі між ними, в нормальних прямих і П-подібних печах, що працюють на перемінному і постійному струму. Процес графітування в печах Ачесона є доволі енергоємним, витрати електроенергії при його здійсненні складають 4000 - 5000 тис. кВт·год/т продукції.

На сьогоднішній день є багато досліджень та практичних рекомендацій, які стосуються підвищення ефективності процесу графітації в печах Ачесона. Практично відсутні аналогічні дослідження для печей Кастнера.

3. Мета роботи

Аналіз експериментальних досліджень температурно-теплових умов роботи печей Кастнера та розробка методики оперативного визначення у реальному часі температури вуглеграфітових заготовок при графітуванні за технологією Кастнера.

4. Зміст основних етапів виконання роботи

- 1) Аналіз літературних джерел з підвищення ефективності печей графітації вуглеграфітових виробів.
- 2) Температурно-теплові режими графітування вуглеграфітових заготовок за технологією Кастнера;
 - конструктивні характеристики печей;
 - аналіз результатів експериментальних досліджень температурно-теплових режимів;
 - енергетичні баланси печей.
- 3) Експрес-методика визначення середньомасової температури печі графітування.
- 4) Математичне моделювання температурних полів заготовок в процесі графітації.
- 5) Розробка стартап-проекту.
- 6) Охорона праці.

5. Матеріали, що подаються після закінчення роботи

- 5.1. Магістерська дисертація.
- 5.2. Презентація.
- 5.3. Довідка про впровадження результатів.

6. Порядок розгляду і приймання роботи

Результати роботи розглядаються на засіданні ЕК із захисту атестаційних робіт освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 144 «Теплоенергетика», спеціалізацією «Промислова та муніципальна теплоенергетика і енергозбереження».

Керівник роботи

_____ доц. М.Ф. Боженко _____
(підпис) (посада, ініціали, прізвище)

Виконавець

Студент гр. ТП-61м,
ТЕФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

« ____ » _____ 20 ____ р.

_____ Д.О. Іваненко
(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 20 ____ р.

Додаток Б

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. директора НДЦ
«Ресурсозберігаючі технології»
КПІ ім. Ігоря Сікорського

_____ А.Я.Карвацький

« » травня 2018 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів магістерської дисертації на здобуття ступеня магістра студента
Іваненка Д.О.

Результати магістерської дисертації студента кафедри ТПТ, ТЕФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського Іваненка Дмитра Олеговича на тему «Температурні та енергетичні показники печей графітування за технологією Кастнера» упроваджені в НДЦ «Ресурсозберігаючі технології» КПІ ім. Ігоря Сікорського в частині використання експрес-методики визначення середньомасової температури вуглеграфітових заготовок в печах графітування Кастнера. В методиці враховуються корисні витрати енергії на нагрівання заготовок з урахуванням її втрат до входу в піч; паразитні витрати енергії на прямий нагрів теплоізоляції, компенсаційної вставки та струмовідводу; витрати на нагрів та випаровування води з теплоізоляції, втрати з поверхні заготовок в навколишнє середовище; витрати енергії на ендотермічну реакцію газифікації.

Додаток В

Ф.№ 3.3

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ Іваненка Дмитра Олеговича.

	Рy	Назва видавництва,	Кіл	
--	----	--------------------	-----	--

№ п/ п	Найменування праць	ко- пи сні або дру- ко- ван і	журналу (номер, рік) або номер авторського свідоцтва, номер диплома на винахід	ь- кіс ть друко- ваних аркуш ів або сторін ок разом	Прізвища співавторів праць
1	2	3	4	5	6
1	Температурно-теплові умови роботи графітувальних печей	Друк.	XV міжнародна науково-практична конференція аспірантів, магістрантів, студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики». Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів, м. Київ, 25-28 квітня 2017 р. у 2 томах. – Т.1.- С.140	1 стор.	Боженко М.Ф.
2	Експрес-методика визначення середньомасової температури вуглеграфітових виробів в печах графітування за технологією Кастнера	Друк.	XVI міжнародна науково-практична конференція аспірантів, магістрантів, студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики». Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів, м. Київ, 24-27 квітня 2018 р. у 2 томах. – Т.1.- С.190	1 стор.	Боженко М.Ф.

3	Експрес-методика визначення середньомасової температури вуглеграфітових виробів в печах графітування за технологією Кастнера	Пр ийн до др уку	Науково-технічний вісник ІХФ. Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження.	7 стор.	Панов Є.М. Лелека С.В. Карвацьки й А. Я. Педченко А.Ю. Боженко М.Ф.
---	--	------------------------------	---	------------	--

Нагороджений дипломом III-го ступеня за активну участь в XV міжнародній науково-практичній конференції аспірантів, магістрантів, студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» у 2017 році.

Список наукових праць Іваненка Д.О.: усього 3 найменування, 1 диплом, 1 наукова стаття, з них за темою магістерської дисертації 3, список наведений на 2 сторінках.

Автор

Іваненко Д.О.



Розділ 2

Завантажено:

05/04/2018

Перевірено:

05/04/2018

Інтернет + Бібліотека

74.26% Оригінальність

25.74% Схожість

15 Джерела

Джерела з Інтернет : 15 джерел знайдено

1. http://rada.kpi.ua/files/dissertation/dis_Pedchenko%20A.%20Yu..pdf	19.83%
2. http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/19385/1/Pedchenko_diss.pdf	19.83%
3. http://journals.uran.ua/eejet/article/download/56642/53437	6.29%
4. http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis64r_81/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=U...	6.29%
5. http://tef.kpi.ua/files/pdf/1tezi_tom1_1524728051.pdf	4.37%
6. http://aesitf.kpi.ua/wp-content/uploads/2018/04/2018vol1.pdf	4.37%
7. http://referatu.net.ua/referats/7569/171467	0.93%
8. https://revolution.allbest.ru/manufacture/00461118_0.html	0.84%
9. http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/15217/1/LazarEv_Zakonom_l%20protsesu%20visokotemp_%...	0.67%
10. http://ela.kpi.ua/handle/123456789/21259?mode=full	0.44%
11. http://www.lib.ua-ru.net/diss/cont/340154.html	0.4%
12. https://core.ac.uk/download/pdf/84838517.pdf	0.39%
13. http://librar.org.ua/sections_load.php?s=chemical_technology_food_production&id=424&start=6	0.26%
14. http://CPSM.kpi.ua/nauka/pat/27050_U.pdf	0.14%
15. http://uapatents.com/2-27050-sposib-viznachennya-koeficiehnta-korisno-di-pechi-grafitaci.html	0.14%

